

# 国际原子能机构安全标准

保护人类与环境

## 核电厂的老化管理 和长期运行计划 的制定

特定安全导则

第 SSG-48 号



**IAEA**

国际原子能机构

# 国际原子能机构安全标准和相关出版物

## 国际原子能机构安全标准

根据《国际原子能机构规约》第三条的规定，国际原子能机构受权制定或采取旨在保护健康及尽量减少对生命与财产之危险的安全标准，并规定适用这些标准。

国际原子能机构借以制定标准的出版物以国际原子能机构《安全标准丛书》的形式印发。该丛书涵盖核安全、辐射安全、运输安全和废物安全。该丛书出版物的分类是安全基本法则、安全要求和安全导则。

有关国际原子能机构安全标准计划的资料可访问以下国际原子能机构因特网网站：

[www.iaea.org/zh/shu-ju-ku/an-quan-biao-zhun](http://www.iaea.org/zh/shu-ju-ku/an-quan-biao-zhun)

该网站提供已出版安全标准和安全标准草案的英文文本。以阿拉伯文、中文、法文、俄文和西班牙文印发的安全标准文本；国际原子能机构安全术语以及正在制订中的安全标准状况报告也在该网站提供使用。欲求进一步的信息，请与国际原子能机构联系（Vienna International Centre, PO Box 100, 1400 Vienna, Austria）。

敬请国际原子能机构安全标准的所有用户将使用这些安全标准的经验（例如作为国家监管、安全评审和培训班课程的依据）通知国际原子能机构，以确保这些安全标准继续满足用户需求。资料可以通过国际原子能机构因特网网站提供或按上述地址邮寄或通过电子邮件发至 [Official.Mail@iaea.org](mailto:Official.Mail@iaea.org)。

## 相关出版物

国际原子能机构规定适用这些标准，并按照《国际原子能机构规约》第三条和第八条 C 款之规定，提供和促进有关和平核活动的信息交流并为此目的充任成员国的居间人。

核活动的安全报告以《安全报告》的形式印发，《安全报告》提供能够用以支持安全标准的实例和详细方法。

国际原子能机构其他安全相关出版物以《应急准备和响应》出版物、《放射学评定报告》、国际核安全组的《核安全组报告》、《技术报告》和《技术文件》的形式印发。国际原子能机构还印发放射性事故报告、培训手册和实用手册以及其他特别安全相关出版物。

安保相关出版物以国际原子能机构《核安保丛书》的形式印发。

国际原子能机构《核能丛书》由旨在鼓励和援助和平利用原子能的研究、发展和实际应用的资料性出版物组成。它包括关于核电、核燃料循环、放射性废物管理和退役领域技术状况和进展以及经验、良好实践和实例的报告和导则。

# 核电厂的老化管理 和长期运行计划的制定

## 国际原子能机构的成员国

阿富汗  
阿尔巴尼亚  
阿尔及利亚  
安哥拉  
安提瓜和巴布达  
阿根廷  
亚美尼亚  
澳大利亚  
奥地利  
阿塞拜疆  
巴哈马  
巴林  
孟加拉国  
巴巴多斯  
白俄罗斯  
比利时  
伯利兹  
贝宁  
多民族玻利维亚国  
波斯尼亚和黑塞哥维那  
博茨瓦纳  
巴西  
文莱达鲁萨兰国  
保加利亚  
布基纳法索  
佛得角  
布隆迪  
柬埔寨  
喀麦隆  
加拿大  
中非共和国  
乍得  
智利  
中国  
哥伦比亚  
科摩罗  
刚果  
哥斯达黎加  
科特迪瓦  
克罗地亚  
古巴  
塞浦路斯  
捷克共和国  
刚果民主共和国  
丹麦  
吉布提  
多米尼克  
多米尼加共和国  
厄瓜多尔  
埃及  
萨尔瓦多  
厄立特里亚  
爱沙尼亚  
斯威士兰  
埃塞俄比亚  
斐济  
芬兰  
法国  
加蓬  
冈比亚

格鲁吉亚  
德国  
加纳  
希腊  
格林纳达  
危地马拉  
几内亚  
圭亚那  
海地  
教廷  
洪都拉斯  
匈牙利  
冰岛  
印度  
印度尼西亚  
伊朗伊斯兰共和国  
伊拉克  
爱尔兰  
以色列  
意大利  
牙买加  
日本  
约旦  
哈萨克斯坦  
肯尼亚  
大韩民国  
科威特  
吉尔吉斯斯坦  
老挝人民民主共和国  
拉脱维亚  
黎巴嫩  
莱索托  
利比里亚  
利比亚  
列支敦士登  
立陶宛  
卢森堡  
马达加斯加  
马拉维  
马来西亚  
马里  
马耳他  
马绍尔群岛  
毛里塔尼亚  
毛里求斯  
墨西哥  
摩纳哥  
蒙古  
黑山  
摩洛哥  
莫桑比克  
缅甸  
纳米比亚  
尼泊尔  
荷兰  
新西兰  
尼加拉瓜  
尼日尔  
尼日利亚  
北马其顿

挪威  
阿曼  
巴基斯坦  
帕劳  
巴拿马  
巴布亚新几内亚  
巴拉圭  
秘鲁  
菲律宾  
波兰  
葡萄牙  
卡塔尔  
摩尔多瓦共和国  
罗马尼亚  
俄罗斯联邦  
卢旺达  
圣基茨和尼维斯  
圣卢西亚  
圣文森特和格林纳丁斯  
萨摩亚  
圣马力诺  
沙特阿拉伯  
塞内加尔  
塞尔维亚  
塞舌尔  
塞拉利昂  
新加坡  
斯洛伐克  
斯洛文尼亚  
南非  
西班牙  
斯里兰卡  
苏丹  
瑞典  
瑞士  
阿拉伯叙利亚共和国  
塔吉克斯坦  
泰国  
多哥  
汤加  
特立尼达和多巴哥  
突尼斯  
土耳其  
土库曼斯坦  
乌干达  
乌克兰  
阿拉伯联合酋长国  
大不列颠及北爱尔兰联合王国  
坦桑尼亚联合共和国  
美利坚合众国  
乌拉圭  
乌兹别克斯坦  
瓦努阿图  
委内瑞拉玻利瓦尔共和国  
越南  
也门  
赞比亚  
津巴布韦

国际原子能机构的《规约》于1956年10月23日经在纽约联合国总部举行的原子能机构《规约》会议核准，并于1957年7月29日生效。原子能机构总部设在维也纳，其主要目标是“加速和扩大原子能对全世界和平、健康及繁荣的贡献”。

国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-48 号

# 核电厂的老化管理 和长期运行计划的制定

特定安全导则

国际原子能机构  
2023 年·维也纳

# 版权说明

国际原子能机构的所有科学和技术出版物均受 1952 年（伯尔尼）通过并于 1972 年（巴黎）修订的《世界版权公约》之条款的保护。自那时以来，世界知识产权组织（日内瓦）已将版权的范围扩大到包括电子形式和虚拟形式的知识产权。必须获得许可而且通常需要签订版税协议方能使用国际原子能机构印刷形式或电子形式出版物中所载全部或部分內容。欢迎有关非商业性翻印和翻译的建议并将在个案基础上予以考虑。垂询应按以下地址发至国际原子能机构出版处：

Marketing and Sales Unit,  
Publishing Section  
International Atomic Energy Agency  
Vienna International Centre  
PO Box 100  
1400 Vienna, Austria  
传真：+43 1 2600 22529  
电话：+43 1 2600 22417  
电子信箱：sales.publications@iaea.org  
<https://www.iaea.org/zh/chu-ban-wu>

© 国际原子能机构，2023 年  
国际原子能机构印刷  
2023 年 12 月·奥地利

## 核电厂的老化管理和长期运行计划的制定

国际原子能机构，奥地利，2023 年 12 月  
STI/PUB/1814  
ISBN 978-92-0-548222-4（简装书：碱性纸）  
978-92-0-548122-7（pdf 格式）  
ISSN 1020-5853

# 前 言

国际原子能机构（原子能机构）《规约》授权原子能机构“制定或采取旨在保护健康及尽量减少对生命与财产的危险的安全标准”。这些标准是原子能机构在其本身的工作中必须使用而且各国通过其对核安全和辐射安全的监管规定能够适用的标准。原子能机构与联合国主管机关及有关专门机构协商进行这一工作。定期得到审查的一整套高质量标准是稳定和可持续的全球安全制度的一个关键要素，而原子能机构在这些标准的适用方面提供的援助亦是如此。

原子能机构于1958年开始实施安全标准计划。对质量、目的适宜性和持续改进的强调导致原子能机构标准在世界范围内得到了广泛使用。《安全标准丛书》现包括统一的《基本安全原则》。《基本安全原则》代表着国际上对于高水平防护和安全必须由哪些要素构成所形成的共识。在安全标准委员会的大力支持下，原子能机构正在努力促进全球对其标准的认可和使用。

标准只有在实践中加以适当应用才能有效。原子能机构的安全服务涵盖设计安全、选址安全、工程安全、运行安全、辐射安全、放射性物质的安全运输和放射性废物的安全管理以及政府组织、监管事项和组织中的安全文化。这些安全服务有助于成员国适用这些标准，并有助于共享宝贵经验和真知灼见。

监管安全是一项国家责任。目前，许多国家已经决定采用原子能机构的标准，以便在其国家规章中使用。对各种国际安全公约缔约国而言，原子能机构的标准提供了确保有效履行这些公约所规定之义务的一致和可靠的手段。世界各地的监管机构和营运者也适用这些标准，以加强核电生产领域的安全以及医学、工业、农业和研究领域核应用的安全。

安全本身不是目的，而是当前和今后实现保护所有国家的人民和环境的目标的一个先决条件。必须评定和控制与电离辐射相关的危险，同时杜绝不当限制核能对公平和可持续发展的贡献。世界各国政府、监管机构和营运者都必须确保有益、安全和合乎道德地利用核材料和辐射源。原子能机构的安全标准即旨在促进实现这一要求，因此，我鼓励所有成员国都采用这些标准。



# 国际原子能机构安全标准

## 背景

放射性是一种自然现象，因而天然辐射源的存在是环境的特征。辐射和放射性物质具有许多有益的用途，从发电到医学、工业和农业应用不一而足。必须就这些应用可能对工作人员、公众和环境造成的辐射危险进行评定，并在必要时加以控制。

因此，辐射的医学应用、核装置的运行、放射性物质的生产、运输和使用以及放射性废物的管理等活动都必须服从安全标准的约束。

对安全实施监管是国家的一项责任。然而，辐射危险有可能超越国界，因此，国际合作的目的就是通过交流经验和提高控制危险、预防事故、应对紧急情况和减缓任何有害后果的能力来促进和加强全球安全。

各国负有勤勉管理义务和谨慎行事责任，而且理应履行其各自的国家和国际承诺与义务。

国际安全标准为各国履行一般国际法原则规定的义务例如与环境保护有关的义务提供支持。国际安全标准还促进和确保对安全建立信心，并为国际商业与贸易提供便利。

全球核安全制度已经建立，并且正在不断地加以改进。对实施有约束力的国际文书和国家安全基础结构提供支撑的原子能机构安全标准是这一全球性制度的一座基石。原子能机构安全标准是缔约国根据这些国际公约评价各缔约国履约情况的一个有用工具。

## 原子能机构安全标准

原子能机构安全标准的地位源于原子能机构《规约》，其中授权原子能机构与联合国主管机关及有关专门机构协商并在适当领域与之合作，以制定或采取旨在保护健康及尽量减少对生命与财产之危险的安全标准，并对其适用作出规定。

为了确保保护人类和环境免受电离辐射的有害影响，原子能机构安全标准制定了基本安全原则、安全要求和安全措施，以控制对人类的辐射照射和放射性物质向环境的释放，限制可能导致核反应堆堆芯、核链式反应、辐射源或任何其他辐射源失控的事件发生的可能性，并在发生这类事件时减轻其后果。这些标准适用于引起辐射危险的设施和活动，其中包括核装置、辐射和辐射源利用、放射性物质运输和放射性废物管理。

安全措施和安保措施<sup>1</sup>具有保护生命和健康以及保护环境的目的。安全措施和安保措施的制订和执行必须统筹兼顾，以便安保措施不损害安全，以及安全措施不损害安保。

原子能机构安全标准反映了有关保护人类和环境免受电离辐射有害影响的高水平安全在构成要素方面的国际共识。这些安全标准以原子能机构《安全标准丛书》的形式印发，该丛书分以下三类（见图1）。



图1. 国际原子能机构《安全标准丛书》的长期结构。

<sup>1</sup> 另见以原子能机构《核安保丛书》印发的出版物。

## 安全基本法则

“安全基本法则”阐述防护和安全的基本安全目标和原则，以及为安全要求提供依据。

## 安全要求

一套统筹兼顾和协调一致的“安全要求”确定为确保现在和将来保护人类与环境所必须满足的各项要求。这些要求遵循“安全基本法则”提出的目标和原则。如果不能满足这些要求，则必须采取措施以达到或恢复所要求的安全水平。这些要求的格式和类型便于其用于以协调一致的方式制定国家监管框架。这些要求包括带编号的“总体”要求用“必须”来表述。许多要求并不针对某一特定方，暗示的是相关各方负责履行这些要求。

## 安全导则

“安全导则”就如何遵守安全要求提出建议和指导性意见，并表明需要采取建议的措施（或等效的可替代措施）的国际共识。“安全导则”介绍国际良好实践并且不断反映最佳实践，以帮助用户努力实现高水平安全。“安全导则”中的建议用“应当”来表述。

## 原子能机构安全标准的适用

原子能机构成员国中安全标准的使用者是监管机构和其他相关国家当局。共同发起组织及设计、建造和运行核设施的许多组织以及涉及利用辐射源和放射源的组织也使用原子能机构安全标准。

原子能机构安全标准在相关情况下适用于为和平目的利用的一切现有和新的设施和活动的整个寿期，并适用于为减轻现有辐射危险而采取的防护行动。各国可以将这些安全标准作为制订有关设施和活动的国家法规的参考。

原子能机构《规约》规定这些安全标准在原子能机构实施本身的工作方面对其有约束力，并且在实施由原子能机构援助的工作方面对国家也具有约束力。

原子能机构安全标准还是原子能机构安全评审服务的依据，原子能机构利用这些标准支持开展能力建设，包括编写教程和开设培训班。

国际公约中载有与原子能机构安全标准中所载相类似的要求，从而使其对缔约国有约束力。由国际公约、行业标准和详细的国家要求作为补充的原子能机构安全标准为保护人类和环境奠定了一致的基础。还会出现一些需要在国家一级加以评定的特殊安全问题。例如，有许多原子能机构安全标准特别是那些涉及规划或设计中的安全问题的标准意在主要适用于新设施和新活动。原子能机构安全标准中所规定的要求在一些按照早期标准建造的现有设施中可能没有得到充分满足。对这类设施如何适用安全标准应由各国自己作出决定。

原子能机构安全标准所依据的科学考虑因素为有关安全的决策提供了客观依据，但决策者还须做出明智的判断，并确定如何才能最好地权衡一项行动或活动所带来的好处与其所产生的相关辐射危险和任何其他不利影响。

## 原子能机构安全标准的制定过程

编写和审查安全标准的工作涉及原子能机构秘书处及分别负责应急准备和响应（应急准备和响应标准委员会）（从2016年起）、核安全（核安全标准委员会）、辐射安全（辐射安全标准委员会）、放射性废物安全（废物安全标准委员会）和放射性物质安全运输（运输安全标准委员会）的五个安全标准分委员会以及一个负责监督原子能机构安全标准计划的安全标准委员会（安全标准委员会）（见图2）。

原子能机构所有成员国均可指定专家参加四个安全标准分委员会的工作，并可就标准草案提出意见。安全标准委员会的成员由总干事任命，并包括负责制订国家标准的政府高级官员。

已经为原子能机构安全标准的规划、制订、审查、修订和最终确立过程确定了一套管理系统。该系统阐明了原子能机构的任务；今后适用安全标准、政策和战略的思路以及相应的职责。

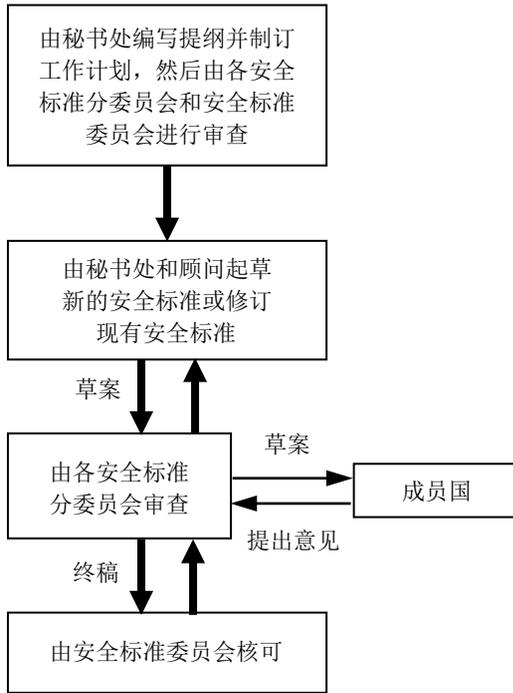


图 2. 制订新安全标准或修订现行标准的过程。

## 与其他国际组织的合作关系

在制定原子能机构安全标准的过程中考虑了联合国原子辐射效应科学委员会的结论和国际专家机构特别是国际放射防护委员会的建议。一些标准的制定是在联合国系统的其他机构或其他专门机构的合作下进行的，这些机构包括联合国粮食及农业组织、联合国环境规划署、国际劳工组织、经合组织核能机构、泛美卫生组织和世界卫生组织。

## 文本的解释

安全相关术语应按照《国际原子能机构安全术语》（见 <http://www-ns.iaea.org/standards/safety-glossary.htm>）中的定义进行解释。否则，则采用具有最新版《简明牛津词典》所赋予之拼写和含义的词语。就“安全导则”而言，英文文本系权威性文本。

原子能机构《安全标准丛书》中每一标准的背景和范畴及其目的、范围和结构均在每一出版物第一章“导言”中加以说明。

在正文中没有适当位置的资料（例如对正文起辅助作用或独立于正文的资料；为支持正文中的陈述而列入的资料；或叙述计算方法、程序或限值和条件的资料）以附录或附件的形式列出。

如列有附录，该附录被视为安全标准的一个不可分割的组成部分。附录中所列资料具有与正文相同的地位，而且原子能机构承认其作者身份。正文中如列有附件和脚注，这些附件和脚注则被用来提供实例或补充资料或解释。附件和脚注不是正文不可分割的组成部分。原子能机构发表的附件资料并不一定以作者身份印发；列于其他作者名下的资料可以安全标准附件的形式列出。必要时将摘录和改编附件中所列外来资料，以使其更具通用性。

# 目 录

<b>1. 导言</b> .....	<b>1</b>
背景 (1.1-1.7).....	1
目的 (1.8-1.10).....	2
范围 (1.11-1.14).....	2
结构 (1.15).....	3
<b>2. 基本概念 (2.1-2.5)</b> .....	<b>3</b>
老化管理 (2.6-2.24).....	4
陈旧管理 (2.25-2.29).....	7
长期运行计划 (2.30-2.32).....	8
<b>3. 核电厂全寿期老化管理 (3.1-3.6)</b> .....	<b>10</b>
设计 (3.7-3.12).....	10
制造和建造 (3.13-3.15).....	12
调试 (3.16-3.19).....	13
运行 (3.20-3.30).....	13
长期运行 (3.31-3.36).....	14
暂停运行 (3.37-3.40).....	15
退役 (3.41, 3.42).....	16
<b>4. 相关电厂文件和计划程序 (4.1, 4.2)</b> .....	<b>16</b>
安全分析报告和其他现行许可证审批依据文件 (4.3-4.8).....	17
含设计基准文件的构形和改造管理计划 (4.9-4.15).....	18
电厂计划 (4.16-4.48).....	18
纠正行动计划 (4.49-4.53).....	22
<b>5. 老化管理</b> .....	<b>23</b>
组织机构设置 (5.1-5.8).....	23
数据收集和记录保存 (5.9-5.13).....	25
结构、系统和部件的筛选 (5.14-5.21).....	26
老化管理评审 (5.22-5.36).....	28
老化管理计划 (5.37-5.63).....	33
时效老化分析 (5.64-5.69).....	38
老化管理文件 (5.70-5.74).....	40
<b>6. 技术陈旧管理 (6.1-6.12)</b> .....	<b>40</b>

<b>7. 长期运行计划 (7.1, 7.2)</b> .....	<b>42</b>
组织安排 (7.3, 7.4) .....	43
长期运行的原则和途径 (7.5-7.15).....	43
长期运行计划的制定 (7.16-7.19).....	45
长期运行的结构、系统和部件的范围设置 (7.20) .....	47
长期运行的老化管理评审 (7.21-7.25).....	47
长期运行阶段电厂计划及老化管理计划的评审 (7.26, 7.27).....	47
时效老化分析的重新核实 (7.28).....	48
长期运行的支持文件 (7.29-7.38).....	48
监管评审和批准 (7.39, 7.40).....	49
长期运行计划的执行 (7.41).....	50
<b>参考文献</b> .....	<b>51</b>
<b>参与起草和审订人员</b> .....	<b>53</b>

# 1. 引言

## 背景

1.1. 本“安全导则”根据原子能机构的安全标准计划编写。原子能机构《安全标准丛书》第 SSR-2/1 (Rev.1) 号《核电厂安全：设计》[1]和原子能机构《安全标准丛书》第 SSR-2/2 (Rev.1) 号《核电厂安全：调试和运行》[2]给出了核电厂的设计、调试和运行要求。原子能机构《安全标准丛书》第 GSR Part 4 (Rev.1) 号《设施和活动安全评定》[3]给出了安全评定的要求。原子能机构《安全标准丛书》第 GSR Part 1 (Rev.1) 号《促进安全的政府、法律和监管框架》[4]，给出了核设施运行全周期、相关活动全过程以及随后任何机构控制期间直至没有重大的残余放射性危害为止的全过程监管内容。

1.2. 核电厂老化管理实施的目的是为了确保核电厂全寿期(包括退役)内老化效应不会对结构、系统和部件所需安全功能的实现造成影响，并考虑其随时间和使用过程的变化[1]。这要求既要考虑结构、系统和部件有形老化引起的性能降质，也要考虑结构、系统和部件的无形老化(陈旧)(即，相对于当前的知识、法规、标准、规范以及技术的过时)带来的影响。

1.3. 在核电厂全寿期的所有阶段均适当实施老化管理，则管理将达到最佳效果。

1.4. 结构、系统和部件的有效老化管理是保证核电厂安全、可靠运行的关键要素。为协助成员国进行有效的老化管理，原子能机构制定了《国际通用老化经验教训》(IGALL)计划(见参考文献[5、6]。此外，随着越来越多的营运组织优先考虑超出原先预计运行时间范围继续运行核电厂，核电厂在长期运行期间的安全性变得更加重要。

1.5. 本“安全导则”补充并提供符合 SSR-2/1(Rev.1)[1]和 SSR-2/2(Rev.1)[2]的有关老化管理和长期运行要求的建议。识别了核电厂有效老化管理的关键要素。

1.6. 本“安全导则”修订并取代了2009年发布的《核电厂老化管理》安全导则以及原子能机构1999年和2007年发布两份安全报告。<sup>1</sup>此次修订考虑到世界各地核电厂老化管理的发展情况,并扩大了范围,纳入了长期运行期间维持核电厂安全的规定。

1.7. 原子能机构《安全标准丛书》第SSG-25号《核电厂定期安全评审》[7],也提出了结构、系统和部件有形老化的建议,但更侧重于结构、系统和部件的无形老化。第SSG-25号[7]还强调,如果核电厂超出原先预计运行时间范围继续运行,就必须寻求安全改进,并实施切实可行的改进。

## 目的

1.8. 本“安全导则”的目的是为满足SSR-2/1(Rev.1)[1]要求30(安全重要物项鉴定)和要求31(老化管理)以及SSR-2/2(Rev.1)[2]要求14(老化管理)和要求16(长期运行计划)提供建议。

1.9. 本“安全导则”为营运组织实施和改进老化管理以及制定核电厂安全长期运行计划(适当考虑老化管理)提供了指导。

1.10. 本“安全导则”也可供监管机构在制定管理要求、守则和标准以及核实核电厂有效老化管理时使用。

## 范围

1.11. 本“安全导则”中的建议适用于世界范围内现有的不同反应堆设计的核电厂的全寿期(包括退役)。

1.12. 本“安全导则”侧重于管理老化管理范围内的结构、系统和部件(“筛选的结构、系统和部件”)的有形老化。它还从安全角度就管理技术陈旧提

---

<sup>1</sup> 国际原子能机构《核电厂老化管理》,国际原子能机构《安全标准丛书》第NS-G-2.12号,国际原子能机构,维也纳(2009年)。

国际原子能机构《核电厂老化管理计划的执行和评审》,《安全报告丛书》第15号,国际原子能机构,维也纳(1999年)。

国际原子能机构《核电厂安全长期运行》,《安全报告丛书》第57号,国际原子能机构,维也纳(2007年)。

出建议，并就核电厂安全长期运行计划提出建议，重点是与老化管理有关的活动。

1.13. 与安全长期运行有关的其他方面，如知识陈旧（即与知识管理和人力资源有关的事项）和与当前监管要求、守则和标准的符合性，以及电厂设计、长期运行的环境影响、经济评定和延寿投资策略，均不在本“安全导则”的范围内。这些问题在原子能机构的其他安全标准（见参考文献[1、7、8]）述及。

1.14. 本“安全导则”中的建议也适用于作为核电厂一部分的乏燃料贮存和放射性废物管理设施。本“安全导则”中的建议也可作为乏燃料贮存设施和放射性废物管理设施的老化管理基础。在这方面，应遵循原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-15 号《乏燃料的贮存》[9]提出的建议。

## 结构

1.15. 第 2 部分介绍了老化管理和陈旧管理的基本概念及其对安全长期运行计划的影响，为第 3—7 部分中给出的建议提供了共同的基础；第 3 部分提供了结构、系统和部件在核电厂寿期中每个独立阶段的老化管理建议；第 4 部分就老化管理及安全长期运行相关的电厂文件和计划提出了建议；第 5 部分提供了在核电厂全寿期内适用的关于管理老化的建议。第 6 部分就运行阶段的技术陈旧管理提出了建议；第 7 部分就对核电厂的安全长期运行十分重要的老化相关活动提出了建议。

## 2. 基本概念

2.1. 本部分介绍老化管理的基本概念，包括其在长期运行中的应用，为本“安全导则”第 3—7 部分中给出的建议提供了共同的基础。

2.2. 有形老化是由于物理降解或化学、生物过程（即降质机制）导致的，结构、系统和部件的物理特性随时间或使用而逐渐恶化的一般过程。

2.3. 结构、系统和部件的无形老化是指由于知识和技术的应用和发展以及相关要求、守则和标准的变化，结构、系统和部件变得陈旧（即过时）的过程。

2.4. 在本“安全导则”中，有形老化称为“老化”，而无形老化称为“陈旧”。

2.5. 评定老化和陈旧的累积效应对核电厂安全的影响是一个持续的过程，需要通过定期安全评审或替代安排下的等效安全评定予以评定（见第4.6—4.8段）[2、7]。

## 老化管理

2.6. 在结构、系统和部件的全寿期内，有效老化管理要求使用系统的方法来管理老化的影响，该方法提供了一个框架来协调所有与认知、预防、检测、监控和缓解电厂结构和部件老化效应有关的活动。该方法在图 1 中示出。这是戴明“计划—执行—检查—行动”循环在结构、系统和部件老化管理中的应用。

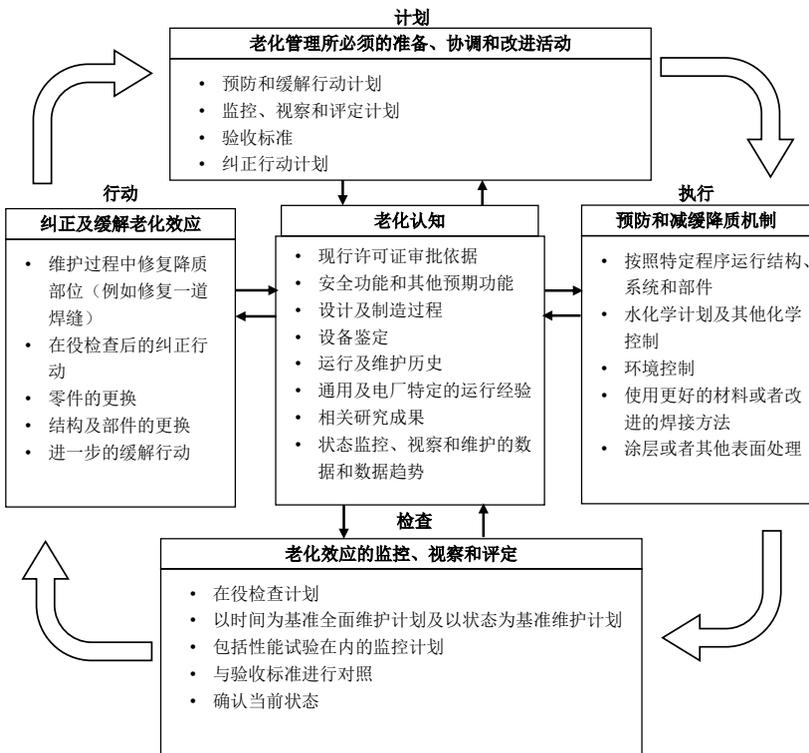


图 1. 老化的系统化管理图示。

2.7. 理解如图 1 所示的结构、系统和部件的老化，是有效老化管理的关键。对老化的理解基于以下知识：

- (a) 当前许可证审批依据<sup>2</sup>以及预计对许可证审批依据进行的相关更新（包括监管要求、守则和标准）；
- (b) 结构、系统和部件的安全功能和其他预期功能；
- (c) 所采用的设计和制造工艺（包括材料、材料性能、制造方法的不利残余影响，如冷加工或焊缝中的残余应力、特定的使用条件、视察和检验的影响以及制造过程中的试验）；
- (d) 设备鉴定（如适用）；
- (e) 在任何延误的建造期内结构、系统和部件的环境条件，因为这些条件可能影响结构、系统和部件的老化性能；
- (f) 结构、系统和部件在运行和停堆状态下的环境条件，至少包括温度、湿度、水参数（如水质和有害成分水平）以及中子或 $\gamma$ 辐射场；
- (g) 结构、系统和部件的运行、辐照和维护记录，包括其调试、维护、改造和监视记录；
- (h) 本电厂或其他核电厂的运行经验；
- (i) 相关研究成果；
- (j) 状态监控、视察和维护的数据和数据趋势。

2.8. 为了维护核电厂的安全，应及时检测老化对结构、系统和部件的影响（即特性的净变化），以便能够采取适当行动，确保结构、系统和部件在核电厂全寿期内满足必要的安全功能要求。

2.9. 图 1 中的“计划”活动涉及协调、整合和修改与结构、系统和部件老化管理有关的现有计划和活动，并在必要时制定新的计划。

2.10. 老化管理包括在可接受限度内防止或控制结构、系统和部件老化的设计、运行和维护措施。老化管理是一项跨学科活动，涉及工程、维护、监视、设备鉴定、在役检查、安全分析和其他相关电厂计划。原子能机构《安

---

<sup>2</sup> “当前许可证审批依据”是一套适用于特定电厂的监管要求单位、营运组织对确保符合适用监管要求并在适用监管要求范围内运行承诺，以及电厂的特定设计基准（包括在许可证有效期内对此类承诺的所有修改和补充）。当前许可证审批依据还包括安全分析报告（通常包括时效老化分析）、定期安全评审报告和其他电厂文件中记录的电厂特定设计基准信息。

全标准丛书》第 NS-G-2.6 号《核电厂的维护、监视和在役检查》[10]为维护、监视和视察的实践提供了指导。

2.11. 如第 3 部分所述, 老化管理包括旨在核电厂全寿期中, 可接受的限度内防止或控制老化效应的所有活动, (即设计、制造或建造、调试、运行(包括长期运行)、退役(包括长期停堆))。

2.12. 结构、系统和部件的老化增加了共因故障(即两个或多个物理屏障或冗余结构和部件降质)发生的概率, 可能导致应用纵深防御概念提供的一个或多个级别防护受损。因此, 在确定结构和部件老化管理的范围时, 不应将结构、系统和部件的冗余考虑在内。

2.13. 如第 5 部分所述, 应使用结构化方法制定老化管理计划, 以确保在实施老化管理方面采取一致的办法。

2.14. 第 4 部分介绍了现有的电厂计划, 包括维护、设备鉴定、在役检查、监视和水化学计划, 这些计划适用于管理老化、老化效应和降质机制。

2.15. 如第 5 部分所述, 如果现有的电厂计划不够充分, 则应对其加以改进, 或制定和实施新的老化管理计划。

2.16. 实际上, 老化效应和降质机制是在结构或部件的层次上进行研究和管理的。然而, 单一结构或部件的老化管理计划可纳入系统和/或电厂级的老化管理计划。

2.17. 图 1 中的“实施”活动是指通过制定特定的运行程序、水化学计划或者其他化学或环境控制计划, 和/或通过其他预防和缓解手段, 预防和缓解结构、系统和部件的预计老化效应和降质机制。

2.18. 如第 5 部分所述, 有效老化管理实际上是通过协调现有的电厂计划和流程(或其中与老化有关的要素)以及研究和开发等外部活动, 并通过实施、协调或采取其他特定行动来实现的。

2.19. 图 1 中的“检查”活动是指通过对结构和部件的视察和监控以及对观测到的老化效应的评定, 及时检测和表征显著的老化效应和降质机制, 以确定所需的所有纠正措施的类型和时机[8]。

2.20. 图 1 中的“行动”活动是指及时纠正结构和部件的老化效应，并通过适当的维护和设计修改（包括结构和部件的维护和更换），进一步预防或缓解。

2.21. 图 1 的闭环表明基于相关运行经验的反馈、研发成果以及自评定和同行评审的结果维持和改进老化管理，可以帮助确保解决出现的老化问题。

2.22. 时效老化分析（也称为“使用有时间限值的假设安全分析”）应证明所分析的老化效应不会对结构或部件在整个假想运行期间执行其预计功能的能力产生不利影响（见第 5.64—5.69 段）。

2.23. 时效老化分析涉及两类参数。第一类参数是分析中使用的时间相关变量。这种参数的例子有中子注量、运行时间或者结构或部件经历的热循环次数。第二类参数是与第一类参数相关的老化效应，可以是容器材料的中子脆性、铸造奥氏体不锈钢的累积疲劳使用因子或热脆性。两类参数都应经过评定，并将其与法规或标准进行比较，以确定结构或部件是否可继续使用。

2.24. 应定期评审老化管理的有效性，以维护电厂安全，并确保反馈和持续改进（见第 5.54—5.63 段）。

## 陈旧管理

2.25. 如果结构、系统和部件的陈旧没有提前识别，并且在结构、系统和部件的可靠性或可用性出现相关下降之前没有采取纠正措施，核电厂的安全可能会受到损害。

2.26. 管理陈旧属于通过持续改进结构、系统和部件的性能和安全管理来加强核电厂安全的一般办法。

2.27. 陈旧可分为几类，表 1 列出了三类陈旧的领域、表现形式、后果和管理办法。

2.28. 第 6 部分提供了关于技术陈旧（也称为“技术的陈旧”）管理的建议。

2.29. 陈旧的概念（如知识陈旧和与现行法规、守则和标准的符合性陈旧）在 SSR-2/2 (Rev.1) [2] 要求 5 和 12（涉及安全政策和定期安全评审）以及

SSG-25[7]安全要素 2 和 8（涉及安全和安全性能重要结构、系统和部件的实际情况）中给出。本“安全导则”中未针对陈旧的这些方面提供建议。

## 长期运行计划

2.30. 核电厂的长期运行是指超出许可证、原电厂设计、有关标准或国家法规规定的既定时限的运行。长期运行应通过安全评定进行论证并且（视国家而定）这一论证可用于更广泛的监管程序，如许可证续期或定期安全评审（见 SSG-25[7]）。在安全评审涵盖的内容中，应特别考虑在长期运行评价范围内，对可能影响结构、系统和部件的老化过程进行适当管理，并确保这些结构、系统和部件在整个计划长期运行期间保持其执行预期安全功能的能力。

2.31. 电厂长期运行计划是包括评价、评定、维护、视察和试验在内的一系列活动，旨在证明和论证电厂在计划的长期运行期间的安全性。如第 7 部分所述，长期运行计划应以国家监管要求为基础，应考虑到国际最佳实践、运行经验和研究结果，并应包含一份实施计划。

2.32. 如果决定进行长期运行，应根据定期安全评审的结果[7]或适当的评定程序的结果（包括本“安全导则”所述的范围设定、老化管理评审和时效老化分析的重新核实），证明计划长期运行期间老化管理充分性，并应由监管机构评定这一证明的充分性。

表 1. 陈旧类型

陈旧领域	表现	后果	管理
技术	<p>备品备件和技术支持缺失                      供应商缺失                      工业界能力不足</p>	<p>失效率增加和可靠性降低                      使得电厂性能和安全性降低。</p>	<p>系统地确认结构、系统和部件的剩余寿命以及可能的陈旧；                      根据预期的使用寿命准备备件，并及时更换零部件；                      与供应商签订长期协议；                      开发等效的结构及部件。</p>
法律、法规及标准	<p>硬件和软件偏离现行法律、法规和标准；                      设计存在薄弱环节(例如设备检定、隔离、多样性及严重事故管理能力)</p>	<p>核电厂安全水平低于现行法律、法规和标准要求(例如纵深防御存在薄弱环节或高风险堆芯损坏)。</p>	<p>依据现行法律、法规和标准进行系统再评定(例如通过定期安全评审)，并进行适当的升级、修改和改造。</p>
知识	<p>与结构、系统和部件相关的法律、法规、标准和技术的知识未更新。</p>	<p>错过提高核电厂安全水平的机会。</p>	<p>持续更新知识，并改进知识的应用。</p>

### 3. 核电厂全寿期老化管理

3.1. 应在电厂的全寿期内（即设计、建造、调试、运行（包括长期运行和暂停运行）和退役）对筛选出的结构、系统和部件的老化（见第 5.14—5.21 段）展开有预见性的管理，同时考虑到相关技术、成本和工作人员的受辐照程度。在所有相关活动中（如工程、采购、制造、运输和安装），都应考虑老化效应管理。

3.2. 应制定老化管理的监管要求，并制定指导方针，以确保核电厂的营运组织在核电厂寿期的每个阶段实施有效的老化管理。

3.3. SSR-2/1 (Rev.1) [1]要求 6、SSR-2/2 (Rev.1) [2]要求 24 和 GSR Part 4 (Rev.1) [3]规定了使用运行经验和研发成果的要求。针对老化管理和长期运行而言，这类活动应侧重于：

- (a) 确保各级分析由营运组织内的合格专家执行或规定并接受，以确保考虑到与老化管理和长期运行有关的具体方面；
- (b) 通过分析本电厂、其他核电厂和其他相关行业的运行经验，并通过分析研发成果，增进对筛选出的结构、系统和部件老化效应的了解；
- (c) 应用经确认的经验教训，以更新和改进老化管理。

3.4. 营运组织应与设计组织和设备供应商合作，确保制定能动的老化管理策略，特别是在设计、建造和调试阶段。这类策略应考虑到关于老化效应和降质机制的最新知识。参考文献[11]提供了关于核电厂能动老化管理策略的更详细信息。

3.5. 应适当界定和协调在不同阶段和不同活动中参与结构、系统和部件老化管理的所有组织的角色。

3.6. 核电厂全寿期内的老化管理活动应在监管机构的监督下进行。

#### 设计

3.7. 在电厂设计阶段和进行许可证评审时，应证明已充分考虑到老化问题。

3.8. 应采取适当措施，例如在设计阶段引入特定特征，便于在整个电厂运行阶段进行有效的老化管理。这类措施还应应用于结构或部件的改造和更换。SSR-2/1 (Rev.1) [1]要求 30 和 31 规定了安全重要结构、系统和部件老化管理的设计相关要求。

3.9. 在设计阶段，应确保：

- (a) 设备鉴定计划考虑了电厂的运行状态和事故工况；
- (b) 设计中考虑了运行状态和事故工况下的环境条件；
- (c) 在设计中确定、评价和考虑了所有会对结构、系统和部件产生积极或消极作用的潜在老化效应和降质机制。老化效应和降质机制的例子见参考文献[5]；
- (d) 在设计中实施经过核实的相关经验（包括核电厂建造、调试、运行和退役的经验）和研究成果；
- (e) 使用具有足够耐老化性能的合适材料；
- (f) 制定材料试验计划，以便在电厂运行期间定期监控老化效应，同时考虑对结构和部件可达性的需求；
- (g) 制定在线监控的规定，特别是当这将对导致结构、系统和部件失效的退化提供预警时，以及当失效的后果对安全产生严重影响时；
- (h) 已采取相关行动，使核电厂全寿期内对结构、系统和部件进行视察和维护可行；
- (i) 考虑预防及/或缓解措施（例如适当的化学计划）相关的规定。

3.10. 在新的核电厂或新的结构、系统和部件的设计和采购文件中，营运组织应规定便于老化管理的要求，包括规定销售商、承包商、供货商和制造商应在文件中提供的信息。

3.11. 老化管理应在安全分析报告和其他许可证审批依据文件中说明。安全分析报告中关于老化管理的说明应包括下列内容[12]：

- (a) 老化管理策略及其执行的先决条件；
- (b) 识别所有在老化管理范围内可能受老化影响的结构、系统和部件；
- (c) 在发现老化效应可能影响结构、系统和部件在电厂全寿期内执行其预期功能的情况下，提出适当的材料监控和取样计划的建议；

- (d) 筛选出的不同类型结构、系统和部件（例如混凝土结构、机械部件和设备、电气设备和电缆、仪器仪表及控制设备和电缆）的老化管理以及监控其降质的手段；
- (e) 筛选出的结构、系统和部件设备质量鉴定的设计输入（见第 4.23—4.31 段），包括所需的设备和设备功能，这些设备和设备功能需要按正常运行工况和相关假想始发事件等在役条件进行评定；
- (f) 结构、系统和部件所处环境如何满足规定的在役条件的一般原则（例如，通过适当的通风位置、发热结构、系统和部件保温、辐射屏蔽、减振、避免水淹以及选择合适的电缆路径）；
- (g) 适当考虑老化问题运行经验反馈的分析。

3.12. 营运组织应根据 SSR-2/1 (Rev.1) [1]要求 30 和 SSR-2/2 (Rev.1) [2]要求 13 制定专用设备鉴定程序，包括结构、系统和部件老化。

## 制造和建造

3.13. 营运组织应确保供应商充分考虑影响老化管理的要素，并向营运组织提供足够的制造信息和数据，以便营运组织在制定老化管理计划（包括运行和维护程序）时考虑到这些信息。

3.14. 营运组织应确保：

- (a) 制造商在建造和制造筛选出的结构、系统和部件时，考虑了当前知识中关于潜在老化效应和降质机制以及可能的预防和/或缓解措施的相关内容；
- (b) 所制造设备的运输和贮存条件适合，利于防止过早老化效应和/或可能促进随后老化的条件产生；
- (c) 收集并记录所有相关的参考（基准）数据（例如，关于材料化学和材料性质的信息和数据）；
- (d) 为特定的老化监视计划程序提供足够的监控样本（以涵盖长期运行期间的可能阶段），并可根椐设计规格书获取；
- (e) 制造商进行的设备鉴定试验符合适用的设备鉴定程序。

3.15. 如果电厂出现工期延误，营运组织应确定并记录可能影响结构、系统和部件物理状况及其延寿老化行为的环境条件，并应对结构、系统和部件的老化管理计划进行必要的修改。

## 调试

3.16. 营运组织应为所筛选的结构、系统和部件建立一个测量和记录与老化管理相关的基线数据的计划。该计划应包括绘制电厂每个关键位置的实际环境条件图，以确保它们符合设计要求。

3.17. 营运组织应核实实际环境条件与结构、系统和部件在设计中考虑的环境条件的一致性。应特别注意确定温度和辐射水平的“热点”，并测量振动水平。应尽早确定所有可能影响降质机制的参数，在可能的情况下对其进行监控，并在整个电厂运行过程中对其进行跟踪。

3.18. 营运组织应收集基准数据，并应确认关键工况（如设备鉴定中使用的）符合设计要求。对此类数据的分析应接受监管机构的评审。

3.19. 营运组织应确保结构、系统和部件不会因调试期间进行的试验受到不必要的应力（这些应力未在设计中考虑或可能导致过早老化）。调试期间，营运组织应正确地记录试验及试验结果，以便调查因试验执行不当而可能导致的任何后续过早老化情况。

## 运行

3.20. 应采用系统方法（见图 1）来管理结构、系统和部件的老化和陈旧，以确保在核电厂运行阶段始终保持所要求的预期功能。

3.21. 营运组织应确保与老化管理（见第 4 部分和第 5 部分）和技术陈旧（见第 6 部分）有关的计划和文件在运行阶段得到实施。必要时，应编写新的计划和文件，或评审和修改现有的计划和文件，以确保它们能有效地管理老化。

3.22. 营运组织应确保遵守水化学计划或其他环境控制计划以及其他老化相关预防或缓解行动的特定运行程序。

3.23. 在电厂运行过程中，应监控和记录相关的特定参数，以证明符合关键工况、运行限值和条件，以及所有其他被确定为影响安全分析或设备鉴定中使用的老化假设的参数。

3.24. 营运组织应通过对所筛选的结构或部件的视察和监控，及对观测到的老化效应的评定，确保及时检测和表征严重老化效应，以确定任何所需采取的措施的类型和时间。

3.25. 营运组织应与设计组织合作，确保采取纠正措施，通过对结构或部件进行适当的维护、维修、更换或改造，和/或通过对相关电厂运行、计划和文件进行适当的修改，防止或缓解结构或部件的老化效应。

3.26. 如果结构、系统和部件发生运行变化或改造，营运组织应确保对可能影响老化或导致结构、系统和部件失效的环境或工艺条件（如温度、流态、速度、振动、辐射和热点）的改变进行评审。如有必要，应对受影响的结构、系统和部件进行老化管理评审。

3.27. 应持续监控和控制备件或替换件的有效性以及备件或消耗品的贮存寿命（见第 6.6 段和第 6.7 段）。

3.28. 如果备件或消耗品由于其贮存环境（如高温或低温、潮湿、化学腐蚀和灰尘积累）而易受降质机制的影响，则应采取措​​施确保其贮存在控制适当的环境中。

3.29. 对于特别重要的安全重要结构、系统和部件，营运组织应考虑制定应急计划或专用维护计划，以应对其潜在老化效应或潜在老化效应和降质机制导致的故障。

3.30. 应持续评定相关运行经验和研发计划，以更好地了解降质机制及其老化效应，并改进老化管理计划。如果发现新的老化效应或降质机制（例如，通过运行经验反馈或研发），营运组织应进行适当的老化管理评审，并在必要时实施额外的老化管理。

## 长期运行

3.31. 如果考虑长期运行，营运组织应制定政策文件、专门的组织结构和行动计划，以便在电厂进入长期运行之前及早对长期运行进行评定。营运组织

应明确长期运行评价的目标，并应在长期运行准备阶段评定相关结构、系统和部件的当前物理状态（见第 7.3—7.15 段）。

3.32. 营运组织应详细说明如何按照计划长期运行期间的当前许可证审批依据管理结构或部件的物理状态。

3.33. 关于老化管理，营运组织应评审和核实所有筛选的结构或部件老化相关的现有计划程序和流程（或其中的要素）。

3.34. 对于筛选的结构或部件，营运组织应确定所有时效老化分析，并应证明所有分析在计划的长期运行期间仍然有效，或证明将更换结构或部件，亦或证明将实施进一步的运行、维护或老化管理措施。

3.35. 由于长期运行是超出初始确定的时间范围的运行，且长期运行的评价基于假设，因此营运组织应定期执行以下活动，以核实或纠正与老化相关的假设，从而确保和改进长期运行期间的电厂安全：

- (a) 在进入长期运行后，对本电厂或其他核电厂的运行经验进行评价；
- (b) 分析老化效应的趋势；
- (c) 评审老化管理计划及现有电厂计划对长期运行的有效性；
- (d) 纳入相关研发成果；
- (e) 评价对新研发活动的需求。

3.36. 老化管理和长期运行的相关决定应考虑对随后退役阶段的潜在影响。

## 暂停运行

3.37. 暂停运行是指持续时间通常超过一年的电厂停堆，不包括定期的停堆维护。在暂停运行期间，结构、系统和部件可能需要处于临时存放或安全存储状态，需要采取补检查和控制措施，以最大限度地缓解或防止老化效应。

3.38. 营运组织应评审并在必要时修订老化管理计划，以确保考虑到影响暂停运行期间处于堆放或安全存储状态的结构、系统和部件老化的相关要素。

3.39. 老化管理的必要规定应在结构、系统和部件的规格书或贮存计划中给出, 包括在暂停运行一段时间后恢复运行之前需完成的所有状态评定的要求。

3.40. 如果停堆时间大幅超过最初预期(例如由于意外问题或恢复运行方面的延误), 则应重新评定老化管理, 包括状态评定。

## 退役

3.41. 在反应堆永久停堆和实施经批准的最终退役计划之间可能有一段过渡期, 在此期间, 应作出适当的老化管理安排, 以确保所涉及的结构、系统和部件继续可用和正常运行。这可能需要对某些结构、系统和部件, 如安全壳和乏燃料水池系统、消防系统、起重设备和监控设备, 采用相对长期的老化管理规定。这些规定应符合国家法规。

3.42. 营运组织应在需于退役期间保持可用和正常运行的结构、系统和部件的退役计划和程序中建立并实施老化管理活动项规定(例如: 确保结构、系统和部件的长期完整性, 以防止其退化, 并允许对部件安全拆卸、搬运和运输, 直至完成退役; 监控结构、系统和部件, 以确保安全壳的完整性, 并确保在过渡期内没有重大的放射性外泄, 直至完成退役; 确保地下基础设施的完整性; 监控以往释放的污染物的严重扩散, 特别是放射性核素在地下水中的迁移; 并采取有效措施尽量减少污染的扩散)。

## 4. 相关电厂文件和计划程序

4.1. 核电厂应具备下列与老化管理及相关长期运行评价(也称为“长期运行的先决条件”)有关的文件和计划程序:

- (a) 安全分析报告及其他现行许可证审批依据文件;
- (b) 配置和修改管理计划, 包括设计基准文件;
- (c) 老化管理相关的电厂计划;
- (d) 长期运行相关的电厂计划;
- (e) 纠正行动计划;
- (f) 以第 5.64—5.69 段为依据的时效老化分析。

4.2. 应在安全分析报告或其他现行许可证审批依据文件中正确收录每一份核电厂计划和分析，这些文件应清楚和充分地说明核电厂运行的现行许可证审批依据或现行设计基准要求。

## 安全分析报告和其他现行许可证审批依据文件

4.3. 关于老化管理的政策和长期运行的论据应正确收录在现行许可证审批依据中，特别是安全分析报告、定期安全评审报告（如适用）或其他许可证审批依据文件中。

4.4. 安全分析报告应持续更新，以反映老化管理评审结果[12]。

4.5. 安全分析报告或其他许可证审批文件应提供支持安全长期运行相关活动的说明，以确保营运组织保存必要的信息，以反映电厂的当前状态，并在出现新问题时对其进行定性。

4.6. 定期安全评审是对电厂安全的系统性、全面性评定[2]。定期安全评审的内容和范围应符合 SSG-25[7]提出的建议。SSG-25[7]描述的 14 个安全要素中的一些要素与老化管理紧密相关。营运组织应特别考虑：

- (a) 根据当前许可证审批依据以及国家和国际标准、要求和实践，评定核电厂的设计及其文件的充分性（安全要素 1）；
- (b) 详细的记录每个安全重要结构、系统和部件的实际状况（安全要素 2）。所有现有或预计陈旧的电厂系统和设备的相关知识应被视为该安全要素的一部分；
- (c) 是否在通过适当的计划维持安全重要设备的合格性（安全要素 3），该计划包括维护、视察和试验，并保证至少在下一次定期安全评审之前将维持安全功能；
- (d) 老化对核电厂安全的影响、老化管理计划的有效性和改进老化管理计划的必要性，以及核电厂所用技术的陈旧（安全要素 4）。

4.7. 如果国家要求中不包含定期安全评审要求，则建议进行符合定期安全评审目标的替代性系统全面安全评审[7]。

4.8. 评定还应考虑核电厂的安全性能指标、核电厂的具体运行经验、其他核电厂的运行经验以及国家和国际研究结果，从而揭示以前未知的安全薄弱环节。

## 含设计基准文件的构形和改造管理计划

4.9. 由于电厂安全长期运行的准备工作通常包括许多重要的安全改造和翻新，电厂应遵循可反映电厂的不断变化的构形管理计划或改造管理计划[1、2、13]。

4.10. 所有对结构、系统和部件的改造、过程软件的发布、运行限值和条件、设定点、指令和程序应以可审核和可检索的形式适当记录和保存。所有重大安全改造应包括在安全分析报告[12—14]。

4.11. 为了提供一个保持设计完整性的正式流程，电厂应建立一个实体组织（如一个单位或一名工作人员），全面负责设计流程、批准设计变更，并负责确保设计基准的相关知识[14]。

4.12. 管理系统应包含与构形管理计划和改造管理计划有关的过程和活动。

4.13. 设计基准文件，包括设计基准要求和辅助设计基准信息，应由营运组织持有或可供营运组织使用，以支持适当的构形管理和改造管理，并允许识别电厂的时效老化分析。

4.14. 设计基准信息及其任何相关变更应包括在安全分析报告或单独的设计基准文件中[13、14]。

4.15. 如果设计基准文件不完整或陈旧，应实施适当的设计基准重组计划。

## 电厂计划

4.16. 下列现有电厂计划对于老化管理和长期运行评价至关重要：

- (a) 维护计划；
- (b) 设备鉴定计划；
- (c) 在役检查计划；

- (d) 监视计划；
- (e) 水化学计划。

4.17. 用于长期运行评价的现有老化管理计划应符合第 5 部分表 2 所列的九个基本内容。

4.18. 这类现有计划应成为营运组织管理系统的一部分。

### **维护计划**

4.19. 应制定符合 NS-G-2.6[10]维护计划，并适当执行这些计划，以便进行老化管理和对筛选出的结构、系统和部件的长期运行进行评价。

4.20. 维护计划应明确说明其与老化管理计划的联系，包括维护活动的频率以及关于任务及其评价和记录保留的具体信息。

4.21. 应评定维护计划，以确保筛选出的结构、系统和部件能够在整个运行过程中执行其预期功能，包括计划的长期运行阶段。

4.22. 评定结果应用于改进现有的维护计划。评定文件应涵盖所有维护活动，并提供技术参考资料，以支持评定结果和结论。

### **设备鉴定计划**

4.23. 应制定设备鉴定计划，确保筛选出的达到并保持合格状态的结构、系统和部件，以满足 SSR-2/1 (Rev.1) [1]要求 30 和 SSR-2/2 (Rev.1) [2]要求 13。

4.24. 在本“安全导则”中，“环境鉴定”是指设备鉴定中侧重于对设备的温度、压力、湿度、与化学品的接触、辐照、气象条件、水淹和老化机制等可能影响设备正常运行工况进行鉴定的部分。

4.25. 环境鉴定应证明在设备合格寿命结束时，仍能在规定的完整运行环境下执行其预期功能。

4.26. 环境鉴定应确定设备的合格寿命，在此期间，如果假想事故发生在规定的运行期内（可能包括长期运行），老化效应不会对设备要求的性能产生不利影响。

4.27. 应对实际环境条件进行监控，以便获得必要的补充信息用于评定设备在实际运行环境中的老化效应。

4.28. 应在设备寿期内重新评定设备的合格寿命，同时考虑设备的知识发展、对降质机制的理解及实际运行环境。若要延长合格寿命，营运组织应提供全面的安全评论。

4.29. 设备的合格状态应适当地记录在案，并在电厂的全寿期内予以维护。与设备鉴定有关的文件通常是设备鉴定计划中的一部分，应包括：

- (a) 合格设备总清单；
- (b) 电厂温度监控和辐射监控结果；
- (c) 设备鉴定评定报告；
- (d) 与设备鉴定相关试验报告；
- (e) 与设备鉴定相关时效老化分析报告（用于长期运行的评价）或另一种适用的等效分析报告。

4.30. 设备鉴定评审应包括根据 SSR-2/2 (Rev.1) [2]要求 13 对电厂设备鉴定计划的有效性进行评定。评审还应考虑设备服役期间老化的影响，以及自设备鉴定计划实施以来正常运行期间及假想事故工况下，可能发生的环境条件改变带来的影响。

4.31. 设备鉴定相关推荐实践、过程和方法的详细情况见参考文献[15]。

## 在役检查计划

4.32. 应制定并适当执行符合 NS-G-2.6[10]在役检查计划，以便进行老化管理，并对适用的筛选出的结构、系统和部件的长期运行进行评价，包括对基线数据。

4.33. 在役检查程序应能有效地探测老化情况，并应证实使用推荐的视察或监控技术可充分探测老化效应。

4.34. 应记录在役检查的结果，以便使用在同一位置连续视察的结果进行趋势分析。

4.35. 应对显示明显降质（例如，如果退化大于预期或接近验收标准）的在役检查结果进行评定，以确保适当确定类似区域的降质程度。应独立视察冗余子系统结构、系统和部件，以检测其老化行为中可能存在的差异。

4.36. 应编写和保存一份用以记录在探测结构或部件的退化、表征和趋势方面无损检验充分性的清单或数据库。数据库应提供技术基础，以支撑用以支持老化管理的必要结果和结论。

## 监视计划

4.37. 应制定并适当执行符合 NS-G-2.6[10]监视计划（包括功能试验），以便对适用的筛选出的结构、系统和部件进行老化管理和长期运行评价。

4.38. 监视计划应确认在设计中考虑并在建造和调试中评定的安全运行规定，并在整个运行过程中加以核实。

4.39. 监视计划应持续通过监控用于评定结构、系统和部件在计划的长期运行期间的使用寿命的相关参数来提供数据，例如通过现有或额外安装的温度和压力测量装置或通过额外的诊断系统。

4.40. 监视计划应确认长期运行的安全裕度是足够的，并对预期的运行事件、错误和故障具有高度容忍性。

4.41. 应特别注意以下方面：

- (a) 放射性物质与环境之间屏障的完整性（即一回路压力边界和安全壳）；
- (b) 安全系统的可用性，如反应堆保护系统、安全驱动系统和安全系统支持装置[16]；
- (c) 失效后可能对安全产生不利影响物项的有效性；
- (d) 按照 SSR-2/2 (Rev.1) [2]要求 31 进行功能试验，以确保被试验的结构、系统和部件能够执行其预期功能。

4.42. 如有必要，监视计划使用的专用材料样品（例如反应堆压力容器样品监视材料、电缆样品和腐蚀样片）应针对长期运行期间的老化进行评审、延长或补充。

4.43. 用于监视的材料样品相关初始条件的文件应识别出来，并评定信息的充分性，在必要时对文件进行补充。

4.44. 必要时，应考虑采用适当的试验程序和评价方法，以确定列入反应堆压力容器补充材料监视计划的一组试样，特别是用于替代性评定的试样，如用于评定断裂韧性的主曲线法。

## 水化学计划

4.45. 应制定水化学计划，它对核电厂的安全运行是必不可少的[17]。该计划应确保因水化学方面的压力要素而造成的降质不会影响结构、系统和部件执行其与设计的假设和意图相符的预期功能。水化学计划应防止和/或尽量减少化学杂质和腐蚀对结构、系统和部件的有害影响。

4.46. 营运组织应确保电厂水化学计划能有效地维持技术规范所要求的水质。

4.47. 水化学计划应具体规定用于化学监控的时间安排和分析方法（有些计划使用自动在线监控设备；其他计划使用湿化学方法）以及化学计划有效性的核实手段。

4.48. 水化学计划还应提供必要的化学和放射化学环境，以确保安全长期运行和结构或部件在老化管理和长期运行评价范围内的完整性。

## 纠正行动计划

4.49. 应制定纠正行动计划，以确保查明不利于质量的工况（如与老化有关的降质），并具体规定和执行与问题的重要性相称的纠正行动[8]。

4.50. 纠正行动计划应记录已查明的与老化有关的降质（不利于质量的条件的发生情况和处理降质的方法，如评价和验收、评价和监控、维护或更换。此类信息应作为电厂的具体运行经验加以考虑。

4.51. 纠正行动计划应记录为管理老化效应的发生或严重程度而对老化管理计划、系统配置或电厂运行所作的修改。

4.52. 应由负责相关老化管理计划的人员定期评审纠正行动计划和相关电厂的具体运行经验。评审应确定是否需要加强老化管理计划，以确保纠正行动计划有效地管理老化效应。

4.53. 如果通过对纠正行动计划和相关电厂具体运行经验的评价判断老化管理计划不能充分管理老化的影响，则应酌情具体规定和实施对现有老化管理计划的修改，或制定新的老化管理计划。

## 5. 老化管理

### 组织机构设置

5.1. 为执行用于老化管理的电厂计划，应确定计划的策略和目标，并分配所需的资源（如人员、资金、工具和设备以及外部资源）。组织机构设置，如营运组织的组织结构和策略，应符合国家要求和原子能机构的安全标准[2、8、18—20]，并应符合国家惯例。

5.2. 一种典型的老化管理组织机构设置如图 2 所示。包括各参与的单位和部门，以及它们的职责和接口。

5.3. 应成立一个授权的组织实体（如老化管理单位、管理人员或工作队）来承担老化管理的职责，如第 5.4 段所述。这一老化管理的实体应与电厂的其他组织单位密切合作，如运行、维护、工程和管理系统单位。必要时可包含外部专家；也可以建立一个专门从事老化管理计划协调工作的部门。

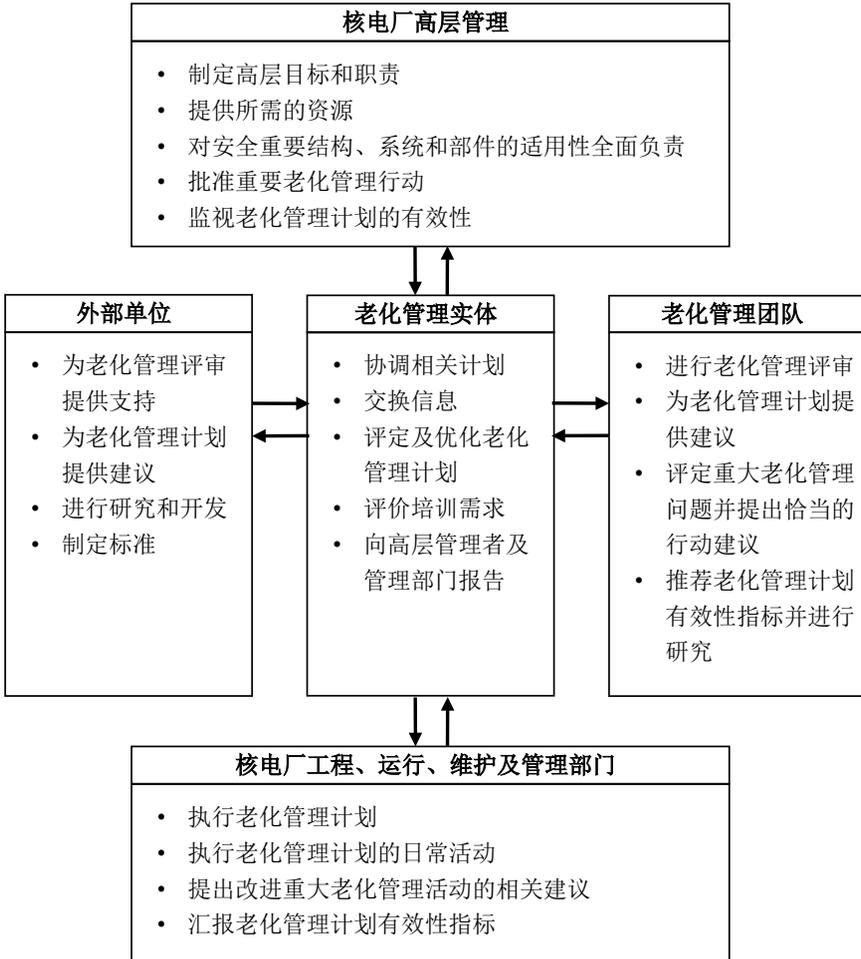


图 2. 针对老化管理的组织机构设置。

5.4. 老化管理实体的责任应包括：

- (a) 电厂老化管理计划的制定；
- (b) 与老化管理有关的现有和新的电厂计划协调；
- (c) 对相关的运行经验和研发成果进行系统的监控，并评定这项经验和成果能否应用于该核电厂；
- (d) 带领跨学科老化问题管理组处理复杂的老化问题；
- (e) 评审和优化老化管理计划；

- (f) 与外部技术支持单位进行协调；
- (g) 确定进一步的培训需要；
- (h) 开展定期的老化管理自评定；
- (i) 老化管理计划相关活动的改进。

5.5. 解决复杂的老化问题可能需要多个专业学科的合作。根据老化评价要求，老化管理组成员（见图 2）应包括来自运行、维护、工程、设备鉴定、设计以及研发等部门的专家。如有需求，可能还需要外部组织就具体课题提供专家服务，如状态评定、研究和标准制定。

5.6. 营运组织的不同部门（如运行部门、维护部门和工程部门）应负责实施核电厂具体结构、系统和部件的老化管理计划，并负责报告结构、系统或部件的性能。

5.7. 应为运行、维护和工程设计部门的相关人员提供结构、系统和部件老化方面的培训，使它们能够充分了解老化管理，并有效推动老化管理工作的开展。

5.8. 应系统收集并评价相关核电厂和其他工业运行经验，并使之能应用于老化管理计划的改进。

## 数据收集和记录保存

5.9. 应建立相应的数据收集和记录保存系统，以支持老化管理。参考文献 [21]给出了应包含在数据收集和记录保存系统中的数据示例。

5.10. 数据收集和记录保存系统应在电厂寿期初建立（理想状况下，数据应从建造初期开始收集），以便为以下活动提供数据信息：

- (a) 确定可能对结构、系统和部件老化产生不利影响的制造、建造和环境条件，包括任何延迟建造或暂停运行的时期；
- (b) 标识相关制造记录，如热处理历史记录和材料试验认证报告；
- (c) 鉴别和评价由老化效应引起的部件降质、失效和故障；
- (d) 确定维护活动（包括设备的标定、维护、维修和更换等）的类型和时机）；

- (e) 优化运行工况和操作，以预防或减缓设备的老化效应；
- (f) 在对电厂安全产生危害或降低结构、系统和部件的服役时间之前及时识别所有老化效应；
- (g) 配置和改造管理、维护、监视和在役检查结果记录，以及化学控制记录。

5.11. 为了便于从电厂运行、维护和工程中获得充足、可靠的老化相关数据，电厂运行、维护和工程设计等相关部门应参与数据收集和记录保持系统的开发和维护。

5.12. 应提供对老化管理至关重要的设计文件，包括供应商提供的文件。

5.13. 应考虑使用现有的通用数据，直到建造阶段开发出自己的数据。

## 结构、系统和部件的筛选

5.14. 应制定和实施一个系统的筛选（也称为“范围界定”）流程，以确定应进行老化管理的结构、系统和部件。

5.15. 应在筛选开始前，提供核电厂所有结构、系统和部件的清单或数据库（如结构、系统和部件总清单）。

5.16. 以下结构、系统和部件应包括在老化管理范围内：

- (a) 履行基本安全功能[1]所必需的安全重要结构、系统和部件：
  - 反应性控制；
  - 反应堆和燃料贮存水池的热量排出；
  - 放射性物质包容、辐射屏蔽、控制计划中的放射性排放、限制意外的放射性排放。
- (b) 其失效可能妨碍安全重要结构、系统和部件实现其预期功能的其他结构、系统和部件。这类潜在故障的例子有：
  - 来自旋转机械的飞射物撞击；
  - 起重设备故障；
  - 水淹；
  - 高能管道破裂；

- 液体泄漏（例如从管道或其他压力边界部件泄漏）。
- (c) 根据国家监管要求，在安全分析（确定性和概率）中被归类为执行应对某些类型事件职能的其他结构、系统和部件，如：
  - 应对内部事故（例如内部火灾及内部水淹）所需的结构、系统和部件；
  - 应对外部危害（例如极端天气情况、地震、海啸、外来水淹、龙卷风和外部火灾）所需的结构、系统和部件；
  - 应对具体的基准事件（例如，高压热冲击、预计的非紧急停堆和全厂断电的瞬态）所需的结构、系统和部件；
  - 应对设计扩展工况[1]或缓解严重事故后果的结构、系统和部件。

5.17. 同时满足以下两个条件的结构和部件可以排除在老化管理范围之外：

- (a) 根据预先确定的规则（根据制造商的建议或其他依据，而不是根据实施老化管理的结构和部件的状况评价）定期更换或按计划翻修的结构和部件；
- (b) 国家法规未要求包括在范围内的结构和部件。

5.18. 如果范围内的结构、系统和部件与范围外的结构、系统和部件直接相连，则应明确界定两者之间的界限。

5.19. 除了分析电厂文件外，还应使用专用的电厂程序检查发生故障可能会阻止执行其预期功能的安全重要结构、系统和部件清单的完整性。

5.20. 由于随后的过程是在结构或部件（或其子部件）层级进行的，因此应识别老化管理范围内的所有结构或部件及其子部件。如果一组结构或部件具有相似的功能和相似的材料，并且处于相似的环境中，则该组可被定义为结构或部件“相关组”。

5.21. 在范围选定之后，范围内的结构、系统和部件和范围外的结构、系统和部件之间的应明显区分。典型的范围筛选过程如图 3 所示。

## 老化管理评审

5.22. 对筛选出的所有结构、系统和部件进行老化管理评审，以确保并证明老化将得到有效管理。

5.23. 老化管理评审应系统地评定已经经历或预期会经历的老化效应和相关的降质机制。评定应包括评价老化效应对筛选出的结构、系统和部件执行第 5.16 段规定的预期功能能力的影响，包括考虑结构、系统和部件的现状。

5.24. 与老化有关的适用经验教训为老化管理评审[5]提供了良好的参考基础，但不应取代电厂特定的老化管理评审。

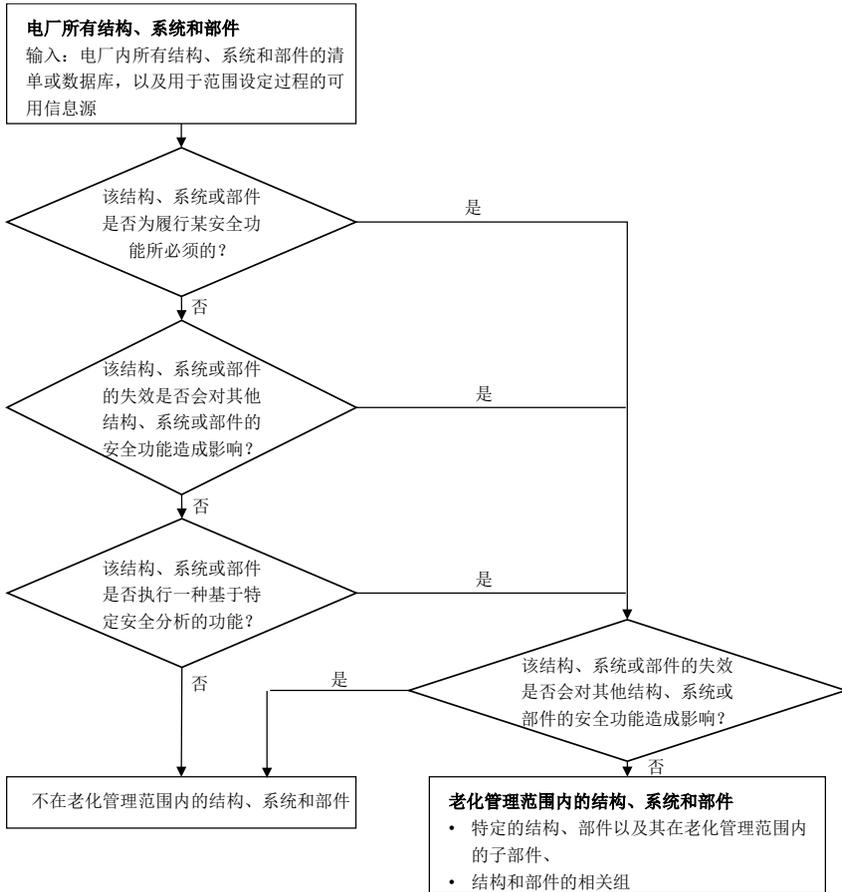


图 3. 老化管理的范围设定流程。

5.25. 应建立一个流程，以确定每一结构或部件的相关老化效应和降质机制，并应制定管理已确定的老化效应和降质机制的计划（见图4）。这一流程应包括以下步骤：

- (1) 应评价与这些结构或部件相关的时效老化分析，以确定分析在预定运行期内的持续有效性。时效管理评审应考虑到时效老化分析的评价结果；
- (2) 应识别所有有关的老化效应和降质机制；
- (3) 如果结构或部件的老化是由现有老化管理计划管理的，则应核实老化管理计划符合表2所示的9个基本内容；
- (4) 如果结构或部件的老化是由电厂的其他计划管理的（如维护计划），则应核实这些计划是否符合表2所示的9个基本内容；
- (5) 如果没有任何现有方案对结构或部件的老化进行管理，则应制定新的方案，或修改或改进现有计划（如扩大老化管理计划的范围），或采取特定行动（如新的时效老化分析、更换结构或部件或者进一步分析）；
- (6) 如果安全重要设备的鉴定寿命到期，则应在其目前的鉴定寿期满后重新鉴定或更换这些设备。

5.26. 应对每个筛选出的结构或部件或相关组的结构或部件进行老化管理评审，并应包括以下基本要素：

- (a) 评定结构或部件的当前状况；
- (b) 根据了解老化的基本知识（例如设计基准、材料、环境和受力；见图1中的“理解老化”）识别老化效应和降质机制；
- (c) 确定适当的老化管理计划；
- (d) 报告老化管理评审情况，以论证老化效应和降质机制正在得到有效管理。

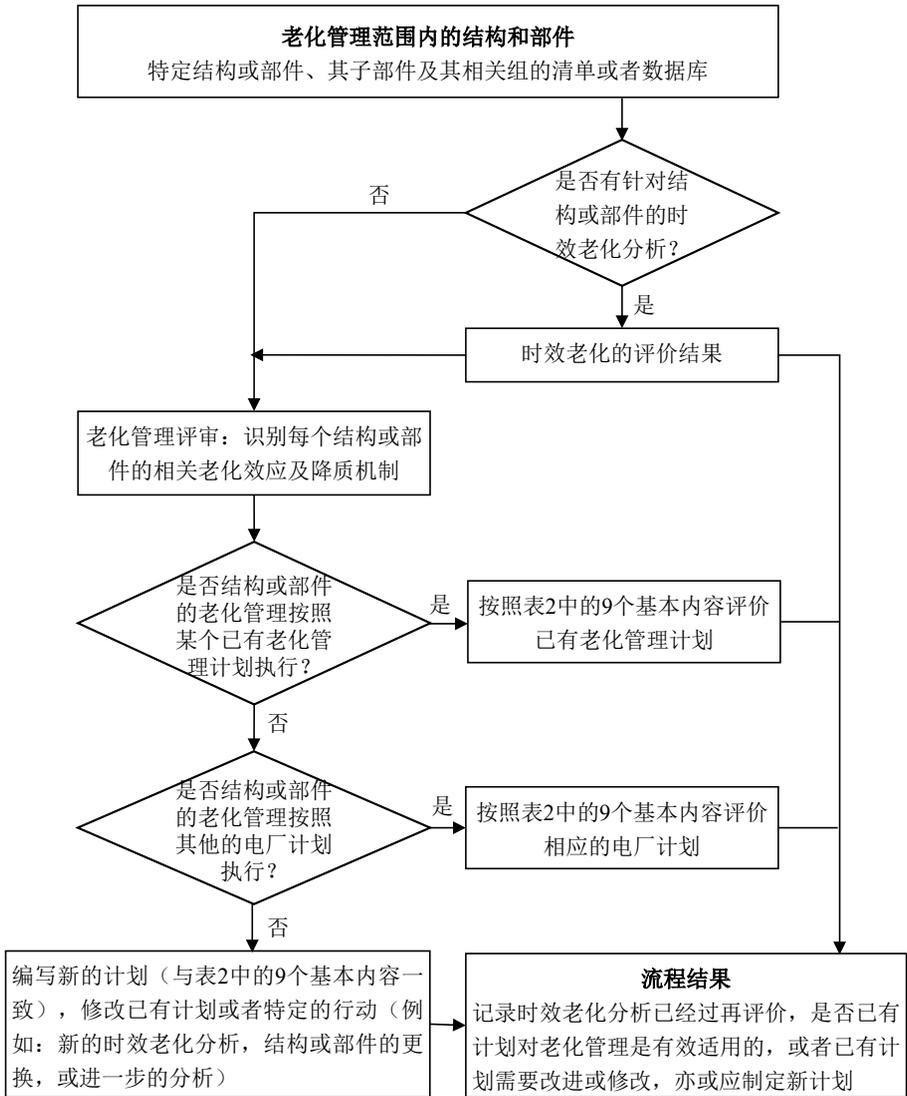


图 4. 确定结构或部件老化管理计划的流程。

表 2. 有效老化管理计划的基本内容

基本内容	具体描述
1. 基于老化认知的老化管理计划	<p>需要进行老化管理的结构（包括结构构件）和部件老化现象（主要的降质机制、敏感部位）的认知：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— 结构或部件的材料、服役条件、危害因素、降质部位、降质机制及老化效应</li> <li>— 结构/部件状态指标及验收标准</li> <li>— 相关老化现象的定量或定性预测模式</li> </ul>
2. 缓解和控制老化劣化的预防性措施	<p>预防性行动的确立</p> <p>确定需要维持的服役条件（即环境和运行工况），以及用于减缓结构或部件潜在降质的操作方法</p>
3. 老化效应的探测	<p>需监控或视察的技术参数</p> <p>在结构或部件失效前及时探测出老化效应的有效技术（视察、试验和监控方法）</p>
4. 老化效应的监控和劣化趋势预测	<p>监控的状态指标和参数</p> <p>收集有助于结构或部件老化评定的数据</p> <p>评定方法（包括数据分析和趋势）</p>
5. 老化效应的缓解	<p>能缓解结构或部件探测出的老化效应和/或降质的运行、维护、维修和更换活动</p>
6. 验收标准	<p>用于判断是否需要采取纠正行动的验收标准</p>
7. 纠正行动	<p>当某一结构或部件不满足验收标准时需采取的纠正行动</p>
8. 运行经验和研发结果反馈	<p>确保及时对运行经验和研发结果进行反馈的机制（如果适用），并提供这些反馈已在老化管理计划中得到充分考虑的客观证明</p>
9. 质量管理	<p>对老化管理计划实施及所采取行动文档化管理</p> <p>有助于对老化管理计划进行评定和改进的指标</p> <p>确保预防性行动充分、适当以及所有纠正行动已经完成且有效的确认（核实）过程</p> <p>应遵循的记录保存方法</p>

## 结构或部件的相关老化效应和降质机制的识别

5.27. 应根据第 5.28 段和第 5.29 段所述对老化的理解，确定每筛选出的结构或部件的所有相关老化效应和降质机制。

5.28. 全面了解结构或部件及其老化效应和降质机制，以及这些如何影响结构、系统和部件执行其功能的能力，应该是图 1 所示系统老化管理过程的先决条件。这应基于：

- (a) 设计（包括结构、系统和部件的预期功能和适用的法规要求、规范和标准）、设计基准和设计文件（包括安全分析）；
- (b) 结构、系统和部件的制造，包括材料性能、可能影响老化的制造条件和使用条件；
- (c) 结构、系统和部件的运行和维护历史，包括调试、运行瞬态和事件、升功率、改造和更换；
- (d) 结构或部件上的受力（包括结构或部件上的负载和结构或部件内外的环境条件）；
- (e) 在役检查和监视的结果；
- (f) 运行经验、研发成果以及所有服役后的检查；
- (g) 巡查、视察和状况评定的结果（若有）；
- (h) 时效老化分析的评定结果。

5.29. 识别过程应考虑到老化效应的特点（如产生老化效应的必要条件和降质速率）、相关降质机制及其对结构或部件预期功能的影响。

## 确定适当的老化管理计划

5.30. 应具体说明发现、监控、预防和缓解老化效应的适当方法，以及每一结构或部件的降质机制。

5.31. 应评定现有的老化管理计划和其他电厂计划是否符合表 2 中的九个基本内容，以确定它们是否有效地发现、监控、预防或缓解计划所涉结构或部件中的老化效应和降质机制。

5.32. 如果现有的老化管理计划和其他电厂计划不够有效，则应根据表 2 中的九个基本内容改进或升版现有计划，或制定新的计划。

## 关于老化管理的评审报告

5.33. 确定了管理老化效应和降质机制的方法后，就应编写系统性的文件，从逻辑上证明老化效应将得到充分管理。

5.34. 应记录有关老化管理评审范围的所有信息和结论，包括：

- (a) 描述和说明用以确定接受老化理评审的结构或部件的方法；
- (b) 识别应接受老化管理评审的结构或部件清单及其预期功能；
- (c) 用于完成上述工作的信息来源，以及澄清其用途所需的所有说明。

5.35. 老化管理评审的方法和结果应记录在案，并提供以下信息：

- (a) 结构或部件目前的性能和状况，包括对任何重大老化效应迹象的评定；
- (b) 需要管理的老化效应和降质机制；
- (c) 了解和监控老化以及预防或缓解老化效应；
- (d) 每一结构、部件或需接受老化管理评审的同类结构和部件应通过具体的计划或活动进行老化效应和降质机制的管理，若必要时可制定新的计划；
- (e) 各计划和活动将如何管理老化效应和降质机制，同时考虑到结构或部件的当前状况；
- (f) 在可行的情况下，结构或部件的预期的未来性能、老化效应和使用寿命；
- (g) 老化管理评审的结果将如何应用于电厂的运行、维护和设计。

5.36. 如果老化管理评审考虑到国际通用老化经验教训[5]，则应在论证中说明核工业的通用参考资料适用于相关核电厂，其依据是核电厂的具体特点、核电厂的运行和维护历史和/或自所选参考资料发布以来的工业发展。

## 老化管理计划

5.37. 对于已识别出的需要老化管理的老化效应和降质机制，应利用现有的老化管理计划或现有的电厂计划来进行管理（可加以改进或升版），或制定新的计划。这些计划应得到协调、执行并定期评审，以求改进，如图 5 所示。

5.38. 每个老化管理计划都应符合表 2 所列的有效老化管理计划的基本内容。

5.39. 用于管理老化效应的电厂计划或流程,和老化管理计划应包括以下 4 种活动中的一种或多种:

- (a) 预防活动,防止发生老化效应;
- (b) 缓解活动,试图减缓老化效应;
- (c) 状况监控活动,包括视察和检验老化效应的发生和程度,或使用旨在模拟结构或部件性能的试验样品或样片进行监视;
- (d) 性能检测活动,用于测试结构或部件执行其预期功能的能力。

5.40. 如有必要,应开展以上多种活动,以确保充分管理老化效应,并维持结构或部件的预期功能。例如,管理管道的内部腐蚀可能依赖于缓解计划(水化学),以最大限度地降低对腐蚀的敏感性,以及状态监控计划(超声波视察),以证实腐蚀是否很严重。

5.41. 如果用于管理老化效应的计划涉及从特定的结构或部件群体进行抽视察,则该计划应说明选择待视察样本的方法和样本量,并应证明抽样足以提供合理的保证,即老化对结构或部件的影响不会妨碍其在全寿期内发挥预期功能。

5.42. 参考文献[5、22]提供了针对具体结构或部件和降质机制的老化管理计划信息和实例摘要。

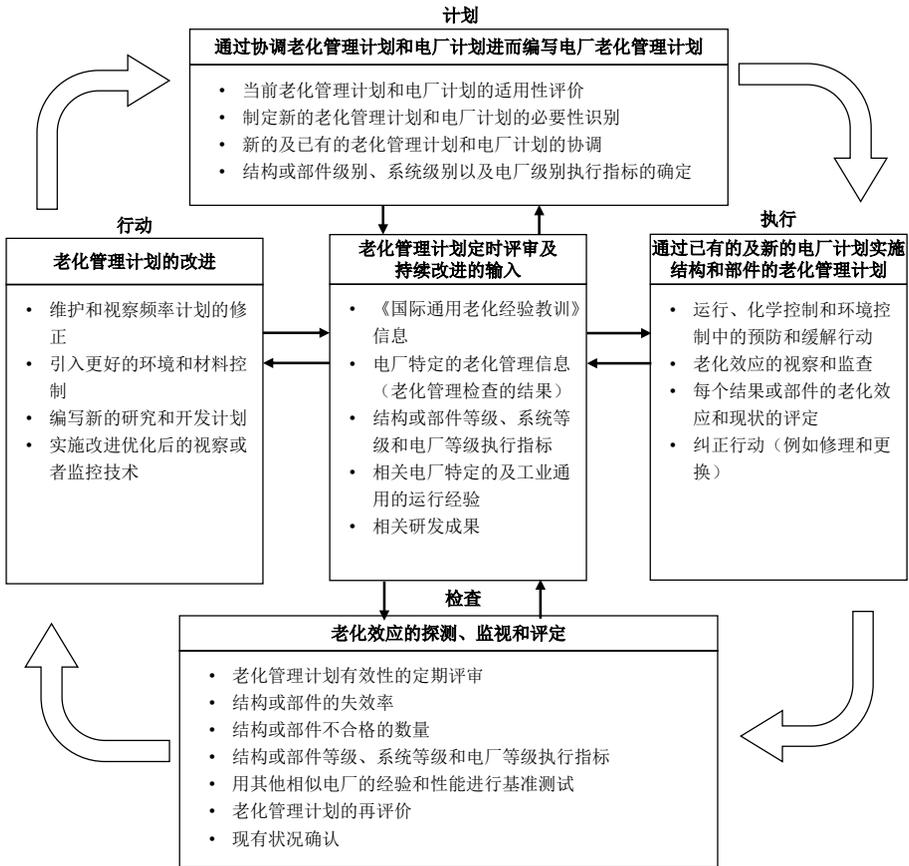


图 5. 老化管理计划的制定、实施、评审和改进。

## 制订老化管理计划

5.43. 应制定针对具体的老化效应和降质机制或针对具体结构和部件的老化管理计划。应协调和维持现有的电厂计划，以涵盖第 5.39 段所述的活动。如有必要，应制定包括或补充这些活动的新计划。这类现有或新制定的计划的详细程度可以不同（例如结构或部件层级、设备层级或系统层级），视其复杂性和对安全的重要性而定。

5.44. 无论老化管理计划是针对具体结构或部件还是针对具体的降质机制，都应在每个老化管理计划中具体说明与检查、监控和预防或减缓老化效

应有关的特定行动。这类特定行动可包括电厂维护、设备鉴定、在役检查、试验和监视以及控制运行工况。

5.45. 应根据老化管理评审的结果制定老化管理计划。

5.46. 制定的所有计划都应符合相关的国家监管要求、法规和标准以及电厂的老化管理政策（见第 4.3 段），并应符合表 2 中的 9 个基本内容。如果一个计划不符合所有九个基本内容，则应充分说明使用该计划的理由，并将理由记录在案。

5.47. 应为老化管理计划制定适当的视察和监控老化效应的验收标准，并应以结构或部件的设计基准或技术要求以及相关监管要求、法规和标准为基础，以便在结构或部件失去预期功能之前充分实施纠正行动。在这些验收标准中应考虑到足够的裕度。

5.48. 在制定老化管理计划时，应特别注意确保该计划根据老化管理评审的结果，制定预防、发现、评价和减缓预期降质机制的老化效应的措施。

5.49. 应收集在考虑范围内的结构或部件的现状信息，以便说明随后老化管理计划评审的有效性。应在制订老化管理计划的同时，制订老化管理计划有效性的代表性指标（见第 5.56 段）。

5.50. 参考文献[5、22]提供的针对具体结构或部件或针对具体降质机制的老化管理计划应被视为制定老化管理计划的导则。

## **老化管理计划的实施**

5.51. 应及时执行老化管理计划，以确保结构或部件持续执行预期功能。

5.52. 应建立详细的实施程序，说明预防和缓解活动、监控或视察和评定活动、验收标准和纠正活动，并在负责实施老化管理计划的核电厂不同组织（如运行、维护和工程单位）之间共享这些程序。

5.53. 作为执行老化管理计划的一部分，应收集和记录适当的数据，以便为决定老化管理活动的类型和时间提供依据。

## 评审和改进老化管理计划

5.54. 应根据最新知识、计划的经验反馈、性能指标，定期评定老化管理计划的有效性，并应酌情予以升版和调整。相关知识包括结构或部件的运行信息、监视和维护历史记录、研发成果的信息以及来自其他核设施的运行经验。

5.55. 老化管理计划应成为营运组织管理系统的一部分。

5.56. 为了评价老化管理计划的有效性，营运组织应制定和使用性能指标。这类性能指标的例子有：

- (a) 与验收标准有关材料条件；
- (b) 与失效和降质有关的数据趋势；
- (c) 由老化引起的经常性故障和降质实例的百分比；
- (d) 与视察计划的一致性状态；
- (e) 新发现的老化效应与降质机制；
- (f) 新制定的老化管理计划。

5.57. 负责单位和参与老化管理的其他内部或外部组织应分享通过执行老化管理计划新获得的数据和信息。应考虑将这些数据与现有的电厂数据库连接起来（如主设备和部件清单）。这些单位和组织应定期开会评审这些数据和资料，并讨论是否有必要修改老化管理计划或制定新的老化管理计划。

5.58. 应根据在降质机制知识方面取得的进展，在设备寿期内重新评定设备的使用寿命。若要延长设备的使用寿命，营运组织应提供一份详尽的安全论证。

5.59. 营运组织的管理应包含对老化管理计划的评审和改进。如果国家监管部门有此要求，应将此类评审的结果提供给监管机构进行评审和评定。

5.60. 应考虑安排对老化管理计划进行同行评审，以获得独立评定，从而确定老化管理计划是否符合普遍接受的实践[5]，并确定需要改进的领域。

5.61. 应定期对老化管理进行深入评审，例如作为定期安全评审[7]一部分或作为长期运行安全评审（见第7部分）的一部分，以评定老化对电厂安全

的影响，并评价用于支持在整个电厂运行，包括延寿期间，老化管理的电厂程序和实践的有效性。

5.62. 深入评审应证明，在电厂整个运行期间，包括长期运行期间，能够继续识别和有效管理每一结构或部件的老化效应。对现有电厂计划的修改或制定任何新计划的要求应具体规定并执行。深入评审的结果应进行记录，并及时处理评审结果，包括任何纠正措施和有待改进的领域。

5.63. 应设立资金充足的研发方案，以应对所有新的老化问题，并不断改进 (a) 对降质机制和老化原因的理解和预测；(b) 相关的监控和缓解方法或实践。应采取战略性的办法促进相关长期研发计划。

## 时效老化分析

5.64. 时效老化分析应同时满足下列六项标准[5]：

- (1) 时效老化分析应包含老化管理范围内的所有结构、系统和部件。第 5.14—5.21 段描述了范围设置，如图 3 所示；
- (2) 时效老化分析应考虑老化效应。老化效应包括但不限于：材料损失、尺寸变化、材料性能变化、韧性损失、预应力损失、沉淀、开裂和介电性质损失；
- (3) 时效老化分析应包括由当前运行期定义的时限假设。指定的运行期应在分析中详细说明。简单地断言一个部件设计的特定使用寿命或电厂寿命是不充分的。任何这类断言都应得到计算或其他分析的支持，这些计算或分析应明确包括一个时间限值或一个基于时间的假设；
- (4) 时效老化分析的相关性应由营运组织在制定由国家法规要求的安全决策时确定。相关性是营运组织根据对现有信息的评审作出的决定。如果基于某一计算或分析的结果与所采取的行动有直接关系，则该计算或分析是相关的。如果分析为电厂安全决策提供了依据，也即在没有该分析的情况下，营运组织可能得到不同的安全结论或采取不同的安全措施时，那么该分析也是相关的；
- (5) 时效老化分析应包括与结构、系统和部件执行其预期功能的能力有关的结论，或为相关的结论提供依据；

(6) 时效老化分析应包含在当前的许可证审批依据中，或以引用的方式列入当前的许可证审批依据。当前的许可证审批依据包括技术规范和设计基准信息，或在当前的许可证审批依据中包含或以引用方式列入的电厂特定文件中记录的营运组织的承诺，包括但不限于：安全分析报告、监管安全评定报告、火灾保护计划或危害分析、与监管机构的通信、管理系统的文档以及作为安全论证报告参考文件的专题报告。如果某一特定结构或部件组的安全论证报告中列有计算代码，则参考材料应包括代码中涉及的对这些结构或部件进行的所有计算要求。

5.65. 符合除第 5.64 段标准 6 外所有标准的安全分析，会员国为论证预定运行期而准备的安全分析也应被视为时效老化分析。参考文献[5]提供了不同反应堆技术的时效老化分析的更多实例。

5.66. 应使用与时间有关的参数的预测值来评价时效老化分析，例如计算某一运行期内的中子注量。时间相关参数的预测值（例如，预测的中子注量）应随后用于评价特定的分析参数，例如调整后的无延性转变温度或断裂韧性。

5.67. 预定运行期内时效老化分析的有效性应根据其对以下所列标准之一的符合性来确定[5]：

- (a) 该分析应在预定运行期内保持有效。预定运行期内的时间相关参数值不应超过现有分析中使用的的时间相关参数值；
- (b) 分析应预测到预定运行寿期末，分析参数值应根据预计运行期内的时间相关参数进行修改，分析参数的取值应持续满足监管方的限值或标准；
- (c) 结构或部件的预期功能的老化效应影响应在预定运行期内得到充分管理。应对分析参数进行管理（使用老化管理计划），以确保老化效应得到充分管理，并且分析参数值在整个预定运行期将持续满足监管方的限值或标准。

5.68. 如果按照第 5.67 段中的标准，时效老化分析不能被接受，则应采取纠正措施。根据具体分析，纠正措施可包括：

- (a) 细化分析，以避免过度保守；
- (b) 在运行、维护或老化管理计划方面采取进一步行动；

(c) 对结构或部件进行改造、修复或更换。

5.69. 时效老化分析的评价结果应作为老化管理评审的输入。

## 老化管理文件

5.70. 电厂老化管理计划评定的假设、活动、评价、评定和结果应按照国家监管要求以及原子能机构的安全标准[2、8]形成文件存档。这些文档应以可检阅和可检索的形式编写和保留。

5.71. 文件还应包括以下内容，以证明在预定运行期内将对老化效应进行管理：

(a) 与老化管理有关的电厂程序和文件的说明；

(b) 老化管理相关的电厂程序和文件的改进或编写的承诺或计划清单。

5.72. 文件应包括反映电厂老化管理计划的假设、活动和结果的安全分析报告的最新进展。

5.73. 电厂老化管理计划的假设、活动、评价、评定和结果也应适当反映在定期安全评审报告中。

5.74. 如果要使用定期安全评审来证明长期运行或许可证更新，则按照SSG-25[7]规定进行的安全评审应考虑到预定运行期。

## 6. 技术陈旧管理

6.1. 电厂结构、系统和部件的技术陈旧应通过具有远见和预测的专用电厂计划进行管理，并应在可靠性和可用性出现任何相关降质之前加以解决。

6.2. 应制定并实施一份技术陈旧管理计划，以识别所有安全重要结构、系统和部件以及维护这些结构、系统和部件所需的备件。

6.3. 技术陈旧计划应包括工程、维护、运行和工作计划组织、电厂高级管理人员和供应链组织的参与。

6.4. 技术陈旧管理计划应提供给监管机构进行评审和评定，详细程度应满足国家监管机构的要求。

6.5. 技术陈旧计划应与表 2 所列的 9 项基本内容适当保持一致。

6.6. 技术陈旧管理计划应包括以下 3 个基本步骤（见图 6）：

- (1) 营运组织应识别出在技术上已陈旧或将在未来几年内陈旧的已安装安全重要结构、系统和部件；
- (2) 应根据技术陈旧设备的安全和临界重要性（即其对电厂安全的影响）对所识别的设备进行优先排序；
- (3) 营运组织应及时制定并实施有效的替代解决方案。技术陈旧管理的解决方案如图 7 所示，并在国际通用老化经验教训技术陈旧计划[5]作了说明。

6.7. 为识别陈旧的设备和部件，应开展下列活动：

- (a) 收集关于结构和部件的数据，通常来自电厂资产管理系统（载有制造商和部件信息的设备数据库）；
- (b) 核实制造商是否仍然可提供替代设备和备件。

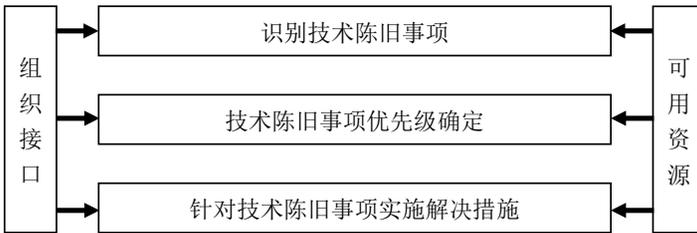


图 6. 陈旧管理一般过程的三个步骤。

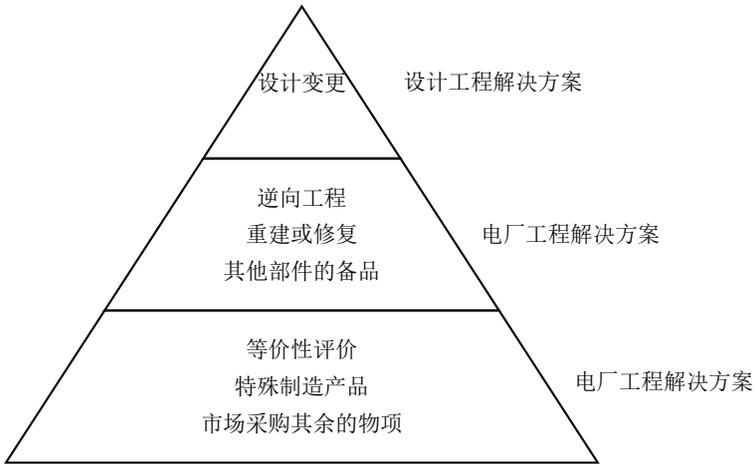


图 7. 技术陈旧管理的解决方案。

6.8. 关于优先次序的确定（见第 6.6 段步骤 2），应使用合适的标准，例如：安全相关性、电厂需求、库存数量、部件的安全分级、故障历史记录、结构或部件的可靠性、工单信息、存货历史和不确定性（数据不全的备件）。

6.9. 应对参与技术陈旧管理的人员进行培训，使其了解技术陈旧管理。

6.10. 营运组织应交流信息，参与核工业内部的合作，并应利用行业工具去识别和解决常见的技术陈旧问题。

6.11. 营运组织应定期评定技术陈旧管理计划的有效性，并应不断寻求改进性能和效率。应就技术陈旧计划的执行情况及其有效性进行自评定，并应就吸取的任何经验教训采取行动。

6.12. 有关技术陈旧管理计划的详细资料见参考文献[5]。

## 7. 长期运行计划

7.1. SSR-2/2 (Rev.1) [2]要求 16 规定了对长期运行计划的要求。

7.2. 应在国家监管框架内规定长期运行的要求。应适当包括与定期安全评审要求的接口[7]。

## 组织安排

7.3. 营运组织应采用全面的项目结构或类似的组织安排来编写和实施长期运行计划，其中应考虑到第 5 部分所述的有形老化管理安排。有形老化管理（包括技术老化）的组织安排，应得到合理执行，并应成为决定核电厂长期运行的先决条件之一。

7.4. 除了与老化管理相关的现有义务外，营运组织应在考虑与长期运行相关的所有监管要求后，明确界定与准备和实施长期运行相关的额外职责和权限。营运组织应确保有适当的资源来支持这些分配的职责和责任。

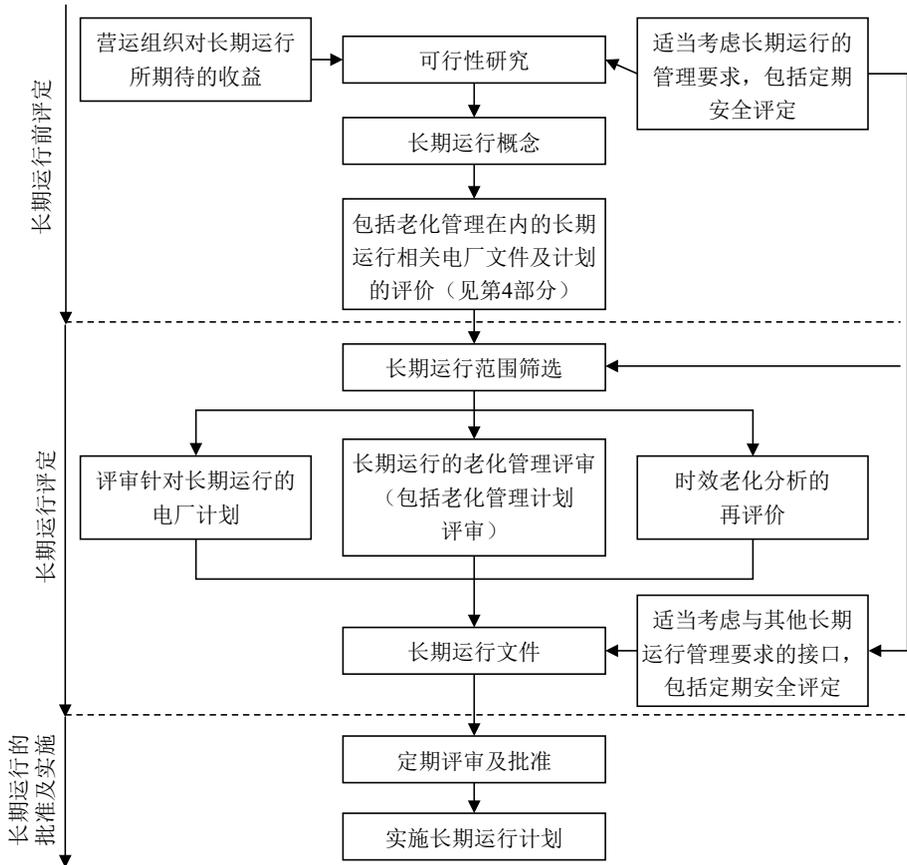
## 长期运行的原则和途径

7.5. 长期运行计划中的主要步骤，特别是确保安全长期运行所必需的结构、系统和部件的老化管理，如图 8 所示。

7.6. 营运组织通常是根据以下所列评价（可行性研究）决定长期运行的：

- (a) 策略要素，如电力需求、经济性评定和供应多样性问题，同时应考虑到安全优先于电力生产；
- (b) 与现行法规、标准和导则的符合性；
- (c) 最新的相关国际标准和导则；
- (d) 对电厂物理状态的技术评定；
- (e) 评价电厂过去与老化、技术陈旧和其他安全问题有关的运行经验；
- (f) 长期运行的乏燃料贮存；
- (g) 长期运行的放射性废物管理；
- (h) 国家法规要求的长期运行对环境影响的评定。

7.7. 应制定长期运行的电厂政策，并应包括长期运行的原则和概念（策略）。当长期运行的决定与监管活动有关时（如许可证更新和定期安全评审），电厂的政策应考虑有关的监管程序。



注：AMP — 老化管理计划；LTO — 长期运行；PSR — 定期安全评审。

图 8. 长期运行计划的主要步骤。

### 7.8. 长期运行计划应以下列原则为基础：

- (a) 运行实践应符合国家法规，应遵循适用的国际导则，并应足以确保电厂的安全运行；
- (b) 监管活动应足以确保维持核电厂的安全运行，并应侧重于计划长期运行期间需要妥善管理的老化效应；
- (c) 现行许可证审批依据应提供可接受的安全水平，并应以同样的方式及在同样程度上，使其在计划的长期运行期间内持续下去，但长期运行所特有的改变除外。

7.9. 长期运行的概念（策略）应包含基本目标和目的、里程碑、活动、组织角色和责任、与其他主要项目的相互作用以及与外部组织的相互作用。

7.10. 营运组织的工作人员，特别是电厂人员，应熟悉长期运行，并应了解其原则和概念。

7.11. 老化管理评审和时效老化分析评价应分别按照第 5.22—5.36 段和第 5.64—5.69 段的建议完成；否则应完成此类评审和评价，以便长期运行。

7.12. 技术陈旧问题应按照第 6.1—6.11 段中的建议完成分析；否则应解决该问题，以便长期运行。

7.13. 对长期运行的评定应特别论证老化效应将得到适当的管理，以便结构、系统和部件的预期功能能够在计划的长期运行期间内与电厂当前的许可证审批依据保持一致。

7.14. 长期运行前的评定方法如图 8 所示。关于老化问题，长期运行计划的主要步骤概述应包括以下方面：

- (a) 在计划的长期运行期间内，将持续识别和管理延寿期限内每个结构或部件的老化效应（包括运行经验反馈和研发成果）；
- (b) 评审时效老化分析，以确保分析仍然符合第 5.67 段所述标准。

7.15. 长期运行评定办法还应考虑到许可证批准流程和其他与许可证有关的要求，如定期安全评审的执行情况[7]。这是为了确保长期运行所需的所有安全改进将作为长期运行准备工作的一部分得到解决。

## 长期运行计划的制定

7.16. 长期运行期间的老化管理应采用第 5 部分所述的方法，并应考虑到长期运行期间将出现的差异，例如较长的运行时间和更高的中子注量水平。此外，还应考虑将在长期运行之前发生的变化，包括监管要求、法规和标准、知识和运行经验的变化。

7.17. 应根据计划的长期运行期间重新评价时效老化分析，并应证明这些分析符合第 5.67 段中的标准。

7.18. 长期运行计划应包括下列活动、评价、评定和结果：

- (a) 范围设定方法、取得的结果（长期运行范围内和范围外的结构或部件）以及第 5.14—5.21 段概述的支持性技术正当性；
- (b) 论证为长期运行而设立的计划能够支撑结构、系统和部件实现其预期功能并且所需的安全裕度将会得到维持的结论。该论证应涉及以下方面：
  - 结构或部件预期功能的描述；
  - 如根据所使用的材料、环境和运行经验等识别出适用的老化效应和降质机制；
  - 管理已识别出的老化效应的运行计划和老化管理计划的说明和描述；
  - 论证这些运行计划和老化管理计划（包括新计划）是有效的。
- (c) 论证在长期运行范围内对结构、系统和部件进行的评审符合第 5.22—5.36 段中概述的流程。应提供以下技术正当性：
  - 论证每一结构或部件的老化效应将得到合理的管理，使该结构或部件的预期功能将在整个计划的长期运行期间得到维持，并与许可证审批依据一致；
  - 确保在评定长期运行范围内的结构或部件的老化效应时，充分反映运行经验和研究成果，并在整个长期运行期间继续考虑这些运行经验和研究成果。
- (d) 论证时效老化分析已经过重新核实，这个评价包括：
  - 确保时效老化分析符合第 5.64 段的规定；
  - 根据第 7.28 段的建议，重新核实每项已识别的时效老化分析，以证明该结构或部件的预期功能将在整个计划的长期运行期间以符合现行许可证审批依据的方式予以维持；
- (e) 长期运行计划的实施，补充说明中应明确安全长期运行的纠正措施，负责长期运行的营运组织的进度安排和承诺。

7.19. 长期运行计划应解决安全长期运行所需的安全改进、进度安排以及营运组织给出的长期运行相关承诺。

## 长期运行的结构、系统和部件的范围设置

7.20. 长期运行的范围设置应遵循第 5.14—5.21 段中规定的方法，并应考虑监管要求、规范和标准的差异。

## 长期运行的老化管理评审

7.21. 长期运行的老化管理评审应遵循第 5.22—5.36 段中规定的方法，考虑长期运行期间的监管要求、规范和标准、知识和运行经验方面的差异。

7.22. 第 5.30—5.32 段规定的程序应用于筛选出的结构或部件老化管理计划的确定。

7.23. 长期运行的老化管理评审应侧重于以下事项：

- (a) 在计划的长期运行期间，是否会出现新的老化效应或降质机制；
- (b) 在计划的长期运行期间，降质机制的严重性、降质速率或其影响的部位是否会发生改变；
- (c) 当前的相关运行经验及研究结果是否已纳入老化管理计划。

7.24. 如果营运组织尚未进行老化管理评审，则应使用长期运行老化管理评审的结果来确定或制定有效的老化管理计划，以便在结构、系统和部件的完整性和功能丧失之前检测并缓解老化管理评审中识别出的老化效应。

7.25. 老化管理评审应明确表明，在计划的长期运行期间，将持续识别和管理长期运行期间每个结构或部件的老化效应。

## 长期运行阶段电厂计划及老化管理计划的评审

7.26. 根据长期运行老化管理评审的结果，应评审用于老化管理的现有电厂计划和现有老化管理计划，以确保它们将继续有效地管理已识别出的在计划的长期运行期间出现的影响。这一评审应确定对计划进行必要的修改和/或制定新的计划，以确保这些结构或部件能够在计划的长期运行期间执行其预期功能。

7.27. 应评审所有现有和新制定的电厂长期运行计划，以确定它们符合表 2 中列出的九个基本内容。此外，第 4 部分中描述的电厂文件和计划也应根据计划的长期运行期间进行评审。

## 时效老化分析的重新核实

7.28. 应评审时效老化分析，以确认根据第 5.67 段所分析的结构或部件在计划的长期运行期间持续有效。应通过重新评价或分析电厂的运行历史（包括计划的长期运行末期）来确定与时间相关的参数，以定义在长期运行计划末期适用的参数限值。如第 5.67 段指出，应使用适用于长期运行期间的的时间相关参数进行时效老化分析的重新评价。

## 长期运行的支持文件

7.29. 营运组织应根据国家监管要求以及原子能机构安全标准[2]，记录电厂长期运行计划的假设、活动、评价、评定和结果。这些文档应以可检阅和可检索的形式编写和保留，以便为长期运行的获批提供部分技术基础。

7.30. 文件应提供关于第 7.18 段和第 7.19 段所概述要素的详细信息，以及国家监管所要求的所有其他信息。

7.31. 关于老化管理，文件还应包括以下内容，以证明将在整个计划的长期运行期间管理老化效应：

- (a) 贯穿整个计划长期运行期间的，与老化管理相关的电厂计划和文件的概述；
- (b) 在整个长期运行期间改进或发展与老化管理有关的电厂计划和文件的承诺清单，以及关于执行新的老化管理计划的资料。

7.32. 开展长期运行老化管理评审的方法论应经过论证并记录在案。

7.33. 应记录有关长期运行老化管理评审范围的所有信息和结论，包括：

- (a) 需开展老化管理评审的结构、系统和部件的识别和清单及其预期功能；
- (b) 用于识别需开展老化管理评审的结构或部件的方法的描述和论证；

(c) 完成上述工作所需信息的来源，以及澄清这些信息源对应用途时所需的所有必要说明。

7.34. 长期运行的老化管理评审结果应记录在指定的报告中。报告应述及对老化的理解、监控以及预防和缓解老化效应的措施。此外，还应就如何将老化管理评审的结果应用于电厂的运行、维护和设计提出建议。

7.35. 用于证明长期运行期间老化效应可得到适当管理的文件应包含以下内容：

- (a) 识别需要管理的老化效应和降质机制；
- (b) 识别用于管理所列结构、部件或相关组的老化效应和降质机制的具体计划程序或活动；
- (c) 阐明上述计划程序和活动管理老化效应和降质机制的方式。

7.36. 文件应包括最新版的安全分析报告和许可证认证评审过程中关于长期运行阶段电厂计划的假设、活动和结果的其他文件。安全分析报告的更新还应包括对长期运行期间老化分析进行重新核实的相关文件。

7.37. 电厂长期运行计划的假设、活动、评价、评定和结果也应适当反映在定期安全评审报告中。

7.38. 如果使用定期安全评审作为获取许可证的依据，则应考虑整个计划长期运行阶段对 SSG-25[7]定义的安全要素 2—5 进行的安全评审。

## 监管评审和批准

7.39. 为确保核电厂的安全长期运行，营运组织应在监管机构的监督下证明在整个长期运行期间核电厂的安全都将得到保障并且满足现行安全标准和国家监管要求。

7.40. 应按照国家监管要求规定的详细程度和方式，向监管机构提供长期运行安全证明文件，供其审批。论证应包括基于以往研究得到的长期运行期间老化效应的预测趋势，以及为提高安全性而实施的电厂改造（若适用）。

## 长期运行计划的执行

7.41. 长期运行计划应由营运组织以符合国家监管机构和国家法规要求的方式实施。

## 参 考 文 献

- [1] 国际原子能机构《核电厂安全：设计》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSR-2/1 (Rev.1) 号，国际原子能机构，维也纳（2016 年）。
- [2] 国际原子能机构《核电厂安全：调试和运行》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSR-2/2 (Rev.1) 号，国际原子能机构，维也纳（2016 年）。
- [3] 国际原子能机构《设施和活动安全评定》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 GSR Part 4 (Rev.1) 号，国际原子能机构，维也纳（2016 年）。
- [4] 国际原子能机构《促进安全的政府、法律和监管框架》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 GSR Part 1 (Rev.1) 号，国际原子能机构，维也纳（2016 年）。
- [5] 国际原子能机构《核电厂老化管理：国际通用老化经验教训 (IGALL)》，《安全报告丛书》第 82 号，国际原子能机构，维也纳（2015 年）。
- [6] 国际原子能机构《核电厂老化管理办法：国际通用老化经验教训 (IGALL) 最终报告》，国际原子能机构《技术文件》第 1736 号，国际原子能机构，维也纳（2014 年）。
- [7] 国际原子能机构《核电厂定期安全评审》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 NS-G-2.10 号，国际原子能机构，维也纳（2003 年）。
- [8] 国际原子能机构《安全的领导和管理》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 GSR Part 2 号，国际原子能机构，维也纳（2016 年）。
- [9] 国际原子能机构《乏燃料的贮存》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-15 号，国际原子能机构，维也纳（2012 年）。（修订版编写中）
- [10] 国际原子能机构《核电厂的维护、监视和在役检查》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 NS-G-2.6 号，国际原子能机构，维也纳（2002 年）。
- [11] 国际原子能机构《核电厂老化问题的积极管理》，《安全报告丛书》第 62 号，国际原子能机构，维也纳（2009 年）。

- [12] 国际原子能机构《核电厂安全分析报告的格式和内容》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 GS-G-4.1 号，国际原子能机构，维也纳（2004 年）。（修订版编写中）
- [13] 国际原子能机构《核电厂改造》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 NS-G-2.3 号，国际原子能机构，维也纳（2001 年）。
- [14] 国际核安全咨询组《维持核装置在整个运行寿期内的设计完整性》，《国际核安全咨询组丛书》第 19 号，国际原子能机构，维也纳（2003 年）。
- [15] 国际原子能机构《在运核电厂设备鉴定：升级、维护和评审》，《安全报告丛书》第 3 号，国际原子能机构，维也纳（1998 年）。
- [16] 国际原子能机构《核电厂仪器仪表和控制系统的的设计》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-39 号，国际原子能机构，维也纳（2016 年）。
- [17] 国际原子能机构《水冷堆核电厂化学计划》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-13 号，国际原子能机构，维也纳（2011 年）。
- [18] 国际原子能机构《设施和活动管理系统的适用》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 GS-G-3.1 号，国际原子能机构，维也纳（2006 年）。
- [19] 国际原子能机构《核装置管理系统》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 GS-G-3.5 号，国际原子能机构，维也纳（2009 年）。
- [20] 国际原子能机构《核电厂营运组织》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 NS-G-2.4 号，国际原子能机构，维也纳（2001 年）。
- [21] 国际原子能机构《核电厂老化管理的数据收集和记录保存》，《安全丛书》第 50-P-3 号，国际原子能机构，维也纳（1991 年）。
- [22] 国际原子能机构《核电厂混凝土结构的老化管理》，国际原子能机构《核能丛书》第 NP-T-3.5 号，国际原子能机构，维也纳（2016 年）。

## 参与起草和审订人员

Bollen, R.	荷兰 EPZ 公司
Brocko, P.	捷克共和国罗尔斯-罗伊斯公司
Cox, A.	美国安特及公司
De Jong, A.	荷兰 EPZ 公司
Duchac, A.	国际原子能机构
Havel, R.	捷克 RESCO
Heldt, J.	瑞士莱布施塔特核电厂
Hiser, A.	美国核管制委员会
Inagaki, T.	日本东京电力公司
Kirkhope, K.	加拿大核安全委员会
Krivanek, R.	国际原子能机构
Liszka, E.	瑞典辐射安全局
Michel, F.	德国装置与反应堆安全公司
Ratkai, S.	匈牙利帕克斯核电厂
Wullaert, P.	法国电力公司



## 当地订购

国际原子能机构的定价出版物可从下列来源或当地主要书商处购买。  
未定价出版物应直接向国际原子能机构发订单。联系方式见本列表末尾。

### 北美

#### ***Bernan / Rowman & Littlefield***

15250 NBN Way, Blue Ridge Summit, PA 17214, USA  
电话: +1 800 462 6420 • 传真: +1 800 338 4550  
电子信箱: [orders@rowman.com](mailto:orders@rowman.com) • 网址: [www.rowman.com/bernan](http://www.rowman.com/bernan)

### 世界其他地区

请联系您当地的首选供应商或我们的主要经销商:

#### ***Eurospan Group***

Gray's Inn House  
127 Clerkenwell Road  
London EC1R 5DB  
United Kingdom

交易订单和查询:

电话: +44 (0) 176 760 4972 • 传真: +44 (0) 176 760 1640  
电子信箱: [eurospan@turpin-distribution.com](mailto:eurospan@turpin-distribution.com)

单个订单:

[www.eurospanbookstore.com/iaea](http://www.eurospanbookstore.com/iaea)

欲了解更多信息:

电话: +44 (0) 207 240 0856 • 传真: +44 (0) 207 379 0609  
电子信箱: [info@eurospangroup.com](mailto:info@eurospangroup.com) • 网址: [www.eurospangroup.com](http://www.eurospangroup.com)

定价和未定价出版物的订单均可直接发送至:

Marketing and Sales Unit  
International Atomic Energy Agency  
Vienna International Centre, PO Box 100, 1400 Vienna, Austria  
电话: +43 1 2600 22529 或 22530 • 传真: +43 1 26007 22529  
电子信箱: [sales.publications@iaea.org](mailto:sales.publications@iaea.org) • 网址: <https://www.iaea.org/zh/chu-ban-wu>





通过国际标准促进安全

国际原子能机构  
维也纳